



Certificação Energética do Teclabs

António Vedes Dias Rodrigues da Silva

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Guilherme Carrilho da Graça
Nuno Miguel Rocha Martins

“Para que o carácter de um ser humano revele qualidades verdadeiramente excepcionais, é preciso ter a sorte de poder observar os seus atos durante muitos anos. Se esses atos forem desprovidos de todo o egoísmo, se o ideal que os conduz resulta de uma generosidade sem par, se for absolutamente certo que não procuram recompensa alguma e se, além disso, ainda deixam no mundo marcas visíveis, estamos então, sem sombra de dúvida, perante um carácter inesquecível”

Jean Giono

Abstract

Currently, there is a great concern among representatives from all countries of the world about the objectives to be defined in order to mitigate the emission of greenhouse gases and their impact on our planet. In the European Union, the buildings sector represents more than 41% of the final energy consumed and in Portugal it represents almost 30%. The energy certification of buildings introduced in Europe through the *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) was an important measure that recognized the active role that the building sector has in the emissions of each country. This master's thesis consists of the energy certification of a service building, applying the Energy Performance Regulation of Commercial and Service Buildings (RECS) in effect in Portugal. The evaluation of the building's energy performance was carried out by dynamic multi-zone simulation using the EnergyPlus® simulation software. The Energy Efficiency Class attributed to the building was B, as it presented an R_{IEE} of 0.55. Potential improvement measures were evaluated, through their cost of implementation in comparison with the benefit they would bring to the energy bill. The replacement of lighting equipment allows an annual saving always higher than € 657 with a maximum return period of less than 2 years and 8 months. The installation of a 10kWp photovoltaic system allows an annual saving of more than 2200 € with a maximum payback period of 5 years and 7 months. Even when applied separately, each measure allows the improvement of the building's Class to Category A, which allows the building to obtain a reduction of the Municipal Property Tax (IMI) of up to 25%. This dissertation recommends the implementation of both measures in order to obtain greater annual savings after the return period of both investments.

Keywords: EnergyPlus, Energy Certification, RECS, Energy Efficiency in Buildings, Dynamic Simulation

Resumo

Atualmente existe uma grande preocupação entre os representantes de todos os países do mundo sobre quais os objetivos a definir para mitigar a emissão de gases de efeito estufa e o seu impacto no nosso planeta. Na União Europeia o sector dos edifícios representa mais de 41% da energia final consumida e em Portugal representa quase 30%. A certificação energética dos edifícios introduzida na Europa através da *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) foi uma importante medida que reconheceu o papel ativo que o sector dos edifícios tem nas emissões de cada país. Esta dissertação de mestrado consiste na certificação energética de um edifício de serviços, aplicando o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) em vigor em Portugal. A avaliação do desempenho energético do edifício foi realizada por simulação dinâmica multizona recorrendo ao *software* de simulação EnergyPlus®. A Classe de Eficiência Energética atribuída ao edifício foi B, pois este apresentou um R_{IEE} de 0.55. Foram avaliadas potenciais medidas de melhoria, através do seu custo de implementação em comparação com o benefício que trariam à fatura energética. A substituição de equipamentos de iluminação permite uma poupança anual nunca inferior a 654€ possuindo um período de retorno máximo inferior a 2 anos e 8 meses. A instalação de um sistema fotovoltaico de 10kWp permite uma poupança anual superior a 2200€ possuindo um período de retorno máximo de 5 anos e 7 meses. Isoladamente, cada medida permite o melhoramento da Classe do edifício para a categoria A, o que coloca o edifício apto a obter uma redução do Imposto Municipal sobre Imóveis (IMI) de até 25%. A presente dissertação recomenda a implementação de ambas as medidas visando obter uma poupança anual maior após o período de retorno de ambos os investimentos.

Palavras-Chave: EnergyPlus, Certificação energética, RECS, Eficiência energética em Edifícios, Simulação dinâmica

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus orientadores Professor Guilherme Carrilho da Graça e Nuno Miguel Rocha Martins, pela oportunidade, por todo o apoio prestado e conhecimento transmitido. Não posso também de deixar de agradecer ao Rafael Monge Palma pela atenção e ajuda na fase final desta dissertação.

À equipa do Teclabs e a todos os trabalhadores, pela sua disponibilidade e simpatia em receber-me e partilhar informação durante a fase de levantamento.

À equipa dos serviços técnicos da FCUL por todo o trabalho e ajuda, indispensáveis à realização deste trabalho.

A todos os meus amigos e às alegrias partilhadas. Aos colegas de faculdade e curso pelos incentivos e companhia ao longo de toda esta etapa académica, e cujo apoio foi essencial para a sua superação. Obrigado Pedro Farrancha, Rafael Rebelo e Miguel Samúdio. Um grande obrigado à minha amiga Joana Palos por todos os conhecimentos transmitidos e momentos de companhia que tornaram a realização deste trabalho muito mais fácil, rápida e agradável. Para os meus amigos de Oeiras, a quem devo toda a minha sanidade mental e falta dela, em especial ao João Figueira e à Daniela Martins, vocês são família dê por onde der.

À Bárbara, não há palavras para agradecer todos sorrisos que me arrancaste e toda a força que me deste, naqueles dias em que a motivação estava longe de ser encontrada. O teu apoio e carinho incondicional foram essenciais para mim. Muito obrigado Linda!

A toda a minha família por sempre me incentivarem a seguir os meus sonhos e ideais. Em especial aos meus pais, pela sua presença e amor incondicional. Obrigado pela paciência e por me incentivarem sempre a dar o melhor de mim. Obrigado também pelos sermões e acima de tudo por nunca pararem de acreditar em mim.

Por último quero agradecer ao meu irmão Filipe. Sempre me incentivaste a aprender mais e nunca duvidaste da minha capacidade de o fazer. Por todas as palavras de incentivo e momentos de alegria partilhados. Obrigado Mano!

Índice

Abstract	i
Resumo	ii
Agradecimentos	iii
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
Nomenclatura	ix
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	4
1.3. Estrutura	5
2. Fundamentos Teóricos	6
2.1. Mecanismos de Transferência de calor	6
2.2. Modelação de transferência de energia em Edifícios	6
2.3. Simulação Dinâmica Computacional	8
2.4. Validação de modelos de simulação dinâmica	10
3. Descrição do Edifício e Auditoria Energética	12
3.1. Edifício	13
3.2. Dados Climáticos	15
3.3. Soluções construtivas	15
3.3.1 Envolvente Exterior Opaca	16
3.3.2 Envolvente exterior horizontal opaca	17
3.3.3 Envolvente interior horizontal opaca	18
3.3.4 Envolvente interior vertical opaca	18
3.3.5 Vãos envidraçados	18
3.4 Inércia Térmica	19
3.5 Sistemas de Climatização e Ventilação	20
3.6. Produção de Águas Quentes Sanitárias	21
3.7. Sistema de Iluminação	21
4. Metodologia	25
4.1 Descrição do Modelo Geométrico	26
4.2 Soluções consideradas na simulação para determinação do IEE Previsto	26
4.2.1 Modelo Previsto – Soluções de Envolvente	27
4.2.2 Modelo Previsto – Ventilação	29
4.2.3 Modelo Previsto – Sistemas de Climatização	29
4.2.4 Modelo Previsto – Águas Quentes Sanitárias	32
4.2.5 Modelo Previsto – Iluminação	32
4.2.6 Modelo Previsto – Energias Renováveis	33
4.2.7 Modelo Previsto – Outros Equipamentos	33
4.3 Calibração do Modelo de Simulação	35
4.4 Soluções consideradas na simulação para determinação do IEE Referência	36
4.4.1 Modelo Referência– Soluções de Envolvente	37
4.4.2 Modelo Referência – Ventilação	38
4.4.3 Modelo Referência – Sistemas de Climatização	39
4.4.4 Modelo Referência – Águas Quentes Sanitárias	39
4.4.5 Modelo Referência – Iluminação	39
4.4.6 Modelo Referência – Energias Renováveis	40

5. Resultados	40
5.1. Consumos	40
5.2 Classificação Obtida	41
6. Medidas de Melhoria	42
6.1 Iluminação	42
6.2 Sistema Fotovoltaico	43
6.3 Cenários Cruzados	45
7. Conclusão	47
8. Referências	48
Anexo A	50
A.1. Zonamento Térmico	50
A.2. Qualidade de Iluminação	51
A.3. Fichas Técnicas de Equipamentos	54

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Certificados energéticos emitidos em Portugal. Adaptado de [2].....	1
Figura 1.2 - Exemplo de classificação energética em Portugal.....	2
Figura 1.3 - Gráfico do Consumo Final de Energia em % na UE (A) e Portugal (B) [3].	3
Figura 1.4 - Energia consumida pelo sector de edifícios na UE28 [3].....	3
Figura 1.5 -Energia consumida pelo sector de edifícios em Portugal [8].....	4
Figura 2.1 - Processos de transferência de calor. A) Condução B) Convecção C) Radiação. Adaptado de [5]	6
Figura 2.2 - Esquema das componentes do balanço térmico de um edifício. Adaptado de [7].....	8
Figura 2.3 - Simplificação do Processo de Criação de um Modelo em EnergyPlus	9
Figura 2.4 - Processo de obtenção da classe energética de um Edifício de Serviços	10
Figura 3.1 - Fotografias do edifício Teclabs da FCUL. Vista fachada Sul (A). Vista aérea (B).....	13
Figura 3.2 - Zonamento adotado para o edifício do TecLabs.....	13
Figura 3.3 - Consumo mensal de energia elétrica do ano 2018 para o Teclabs.	14
Figura 3.4 - Temperatura Mensal Média do Solo a 0.5 e 4 m de profundidade	15
Figura 3.5 - Luxímetro Exthech HD450. Adaptado de [15].....	22
Figura 3.6 Gráfico de Qualidade de Iluminação	24
Figura 4.1 - Fachada Sul do modelo geométrico em SketchUp	26
Figura 4.2 - Fachada Poente do modelo geométrico em SketchUp.....	26
Figura 4.3 - Perfis de utilização dos equipamentos de iluminação. A) Corredores e WC B) Gabinetes e Laboratórios	32
Figura 4.4 - Perfis de Utilização de Equipamentos para escritórios e gabinetes com menos de 6 pessoas de ocupação	33
Figura 4.5 - Perfis de utilização de equipamentos para laboratórios de ocupação superior a 6.	34
Figura 4.6 - Perfis de utilização de equipamentos para gabinetes de ocupação superior a 6.	34
Figura 4.7 - Comparação entre o consumo de energia real e o consumo de energia simulado.....	35
Figura 5.1 - Desagregação dos consumos por utilização final	41
Figura 6.1 - Modelo SketchUp para cenário PV com 20kWp de potência	44
Figura 6.2 - Modelo SketchUp para cenário PV com 10kWp de potência	44
Figura A.2.1 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MIDEA_MSMABU	54
Figura A.3.2 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização SAMSUNG AR09JSFSBURN	54
Figura A.3.3 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-GA35VA ..	55
Figura A.3.4 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização Haice HDCI-M18EUDC	55
Figura A.3.5 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-GE71VA ..	56
Figura A.3.6 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-HJ25VA ...	56
Figura A.3.7 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-HJ35VA ...	57
Figura A.3.8 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-GE25VA ..	57
Figura A.3.10 - Ficha técnica das lâmpadas Led T8 600mm para melhoria do sistema de iluminação	58
Figura A.3.9 - Ficha técnica das lâmpadas Led T8 900mm para melhoria do sistema de iluminação .	58

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 Caracterização dos consumos a considerar no cálculo do IEE. Adaptado da Portaria nº17-A/2016 ⁰	2
Tabela 3.1 - Elementos mínimos a considerar no levantamento e/ou caracterização do edifício para efeitos de aplicação do método de simulação dinâmica multizona. Adaptado da Portaria nº17-A/2016	12
Tabela 3.2 - Tarifas de energia elétrica aplicadas ao TecLabs	14
Tabela 3.3 - Dados Climáticos para a região do NUTS 3: Grande Lisboa.....	15
Tabela 3.4 - Resistências Térmicas Superficiais. [13].....	16
Tabela 3.5 - Caracterização da solução construtiva definida para as Paredes Exteriores	16
Tabela 3.6 - Caracterização da solução construtiva definida para as Paredes Exteriores em contacto com o Solo.....	16
Tabela 3.7 - Caracterização da solução construtiva definida para as Coberturas Exteriores	17
Tabela 3.8 - Caracterização da solução construtiva definida para a Cobertura Exterior do Piso 0.....	17
Tabela 3.9 - Caracterização da solução construtiva definida para o Pavimento em contacto com o solo	17
Tabela 3.10 - Caracterização da solução construtiva definida para o teto falso entre pisos.....	18
Tabela 3.11 - Caracterização da solução construtiva definida para as paredes interiores	18
Tabela 3.12 - Classes de Inércia Térmica. Adaptado do Despacho nº 15793-K/2013 ⁰	19
Tabela 3.13 - Cálculo da Inércia Térmica	20
Tabela 3.14 - Equipamentos de climatização existentes no edifício	20
Tabela 3.15 - Tipos de Lâmpada e potência instalada por tipo de luminária	22
Tabela 3.16 - Valores de Iluminância e DPI de referência para as tipologias de sala identificadas no Teclabs. Adaptado da Tabela I.28 da Portaria 17-A/2016	23
Tabela 4.1 - Condições a respeitar na aplicação do método de simulação dinâmica multizona para a determinação do IEE _{prev} de edifícios no âmbito do RECS. Adaptado da Tabela I.04 da Portaria 17-A/2016.....	25
Tabela 4.2 - Soluções construtivas utilizadas na simulação do modelo previsto – paredes exterior geral	27
Tabela 4.3 - Descrição da Envolvente Exterior.....	28
Tabela 4.4 - Descrição dos vãos envidraçados	28
Tabela 4.5 - COP e EER médios considerados para cada zona climatizada e ocupada	30
Tabela 4.6 - Ψ Aquecimento e Ψ de Arrefecimento considerados para cada zona climatizada e ocupada	31
Tabela 4.7 - Levantamento de Equipamentos de Frio	35
Tabela 4.8 - Comparação dos resultados obtidos entre o consumo real e os consumos previstos.	36
Tabela 4.9 - Condições a respeitar na aplicação do método de simulação dinâmica multizona para a determinação do IEE _{ref} de edifícios no âmbito do RECS. Adaptado de [5]	36
Tabela 4.10 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência para edifícios de comércio e serviços. Adaptado da Portaria Nº17-A/2016 ⁰	37
Tabela 4.11 - Caracterização da solução construtiva definida para as Paredes Exteriores do modelo de referência.....	38
Tabela 4.12 - Caracterização da solução construtiva definida para a Cobertura Exterior do modelo de referência.....	38
Tabela 4.13 - Requisitos de ventilação e qualidade do ar interior. Adaptado da Portaria nº353-A/2013 ⁰⁰	39
Tabela 5.1 - Desagregação dos consumos finais por tipo de utilização e Tipologia	40
Tabela 5.2 - Resumo dos Principais Indicadores.....	41
Tabela 6.1 - Quantificação dos equipamentos a adquirir para melhoria do sistema de iluminação	42
Tabela 6.2 - Otimização do sistema de iluminação: Análise energética e financeira.....	43
Tabela 6.3 - Principais características dos painéis fotovoltaicos.....	43

Tabela 6.4 - Principais características do inversor	43
Tabela 6.5 - Quantificação da energia produzida pela UPAC e utilizada pelo Teclabs em cada cenário	44
Tabela 6.6 - Avaliação energética e financeira da implementação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo.....	45
Tabela 6.7 - Resultados obtidos para diferentes cenários de medidas de melhoria.....	45
Tabela A.1.1 - Lista de espaços afetos a cada zona térmica.....	50

Nomenclatura

LISTA DE ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CIBSE – *Chartered Institution of Building Services Engineers*,

COP – *Coefficient of Performance*

EER – Energy Efficiency Ratio

EP – *EnergyPlus*

EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*

FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

GES – Grande Edifício de Serviços

IEA – *International Energy Agency*

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

nZEB - *nearly Zero-Energy Buildings*

PES – Pequeno Edifício de Serviços

PV – *Photovoltaic*

PVGIS - *Photovoltaic Geographical Information System*

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

SAE_c – *Standard Annual Energy*

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

XPS – Poliestireno Expandido Extrudido

SÍMBOLOS VARIÁVEIS E UNIDADES

IEE_{pr,S} – Indicador de Eficiência Energética previsto

IEE_{REN} – Indicador de Eficiência Energética renovável, associado à produção de energia elétrica e térmica por fontes de energia renováveis

IEE_{ref,S} – Indicador de Eficiência Energética de referência

kWh_{EP} – kilowatt-hora Energia Primária

R_{IEE} – Rácio de classe energética

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) introduzida pela Diretiva 2002/91/CE foi aprovada pela Comissão Europeia em Dezembro de 2002 com o objetivo de promover o melhoramento **do desempenho** energético nos edifícios dos Estados-membros. Motivada principalmente pelo protocolo de Kyoto, que colocou metas de redução de CO₂ à escala mundial, a EPBD visou **incentivar** os países europeus a criar legislação mais exigente relativamente às regulamentações dos edifícios, tais como condições interiores ou materiais utilizados. Procurou também implementar a certificação energética obrigatória para qualquer edifício construído, vendido ou alugado, exigindo a colocação do certificado energético em local visível no caso dos edifícios de serviços públicos. Esta diretiva recomendou ainda que as inspeções aos sistemas de ar-condicionado e caldeiras, cujo consumo ultrapassasse certos valores de referência, fossem tornadas mais regulares de forma a reduzir as emissões causadas por estes equipamentos.

Em 2010 foi aprovada uma nova versão do EPBD, a Diretiva 2010/31/UE⁽¹⁾ mais direcionada para nZEB (*nearly Zero-Energy Buildings*) procurando principalmente atribuir responsabilidade aos Estados-membros para: (i) definir metodologias específicas de medição **do desempenho energético** das construções consoante as características climáticas em que estão inseridas; (ii) delinear indicadores de referência para o comportamento térmico e energético de todos os edifícios novos, existentes e sujeitos a grandes remodelações, ou ainda antigos e aptos a restauros significativos; (iii) criar medidas e incentivos financeiros a nível nacional que promovam o investimento no sector.

No contexto português os primeiros requisitos de eficiência energética em edifícios foram implementados em 1991 para o sector residencial, e em 1998 para o sector de comércio e serviços [1]. Em 2006 foram revistos e reforçados estes requerimentos para irem de encontro aos exigidos pela EPBD, e a partir de 2007 foram introduzidos os Certificados Energéticos, podendo observar-se na *Figura 1.1* um aumento significativo dos certificados ao longo dos anos.

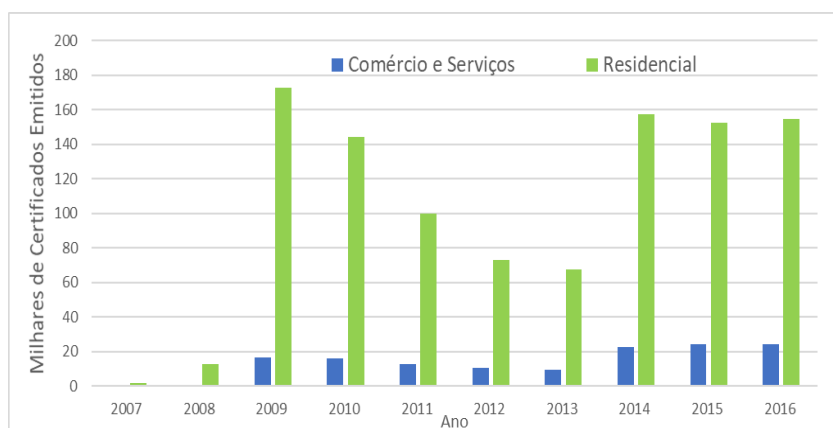


Figura 1.1 - Certificados energéticos emitidos em Portugal. Adaptado de [2].

O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto de 2013⁽²⁾, aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), transpondo a revisão da EPBD apresentada na Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu.

⁽¹⁾ Alterada pela Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018 e pelo Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de dezembro de 2018.

⁽²⁾ Alterado pelos Decretos-Leis n.º 68-A/2015, de 30 de abril, 194/2015, de 14 de setembro, 251/2015, de 25 de novembro, e 28/2016, de 23 de junho, e pela Lei n.º 52/2018, de 20 de agosto

Para os edifícios de comércio e serviços, o RECS estabelece as regras e metodologia a cumprir no projeto, construção, alteração, operação e manutenção de edifícios de comércio e serviços e seus sistemas técnicos, bem como os requisitos para a caracterização do seu desempenho, no sentido de promover a eficiência energética e a qualidade do ar interior ⁽³⁾.

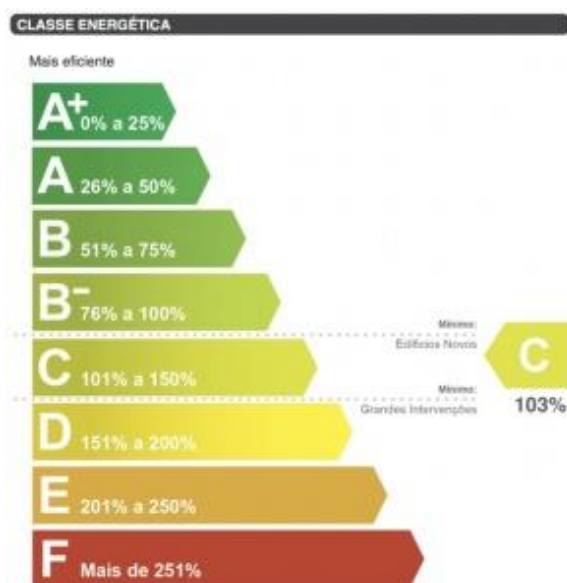


Figura 1.2 - Exemplo de classificação energética em Portugal

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref,S}} \quad (1.1)$$

A expressão (1.1) apresentada no Despacho n.º 15793-J/2013 da Direção Geral de Energia e Geologia define a fórmula de cálculo do Rácio de Classe energética (RIEE) para os edifícios em questão. Na Figura 1.2 pode observar-se qual a classificação obtida consoante o resultado calculado e quais os requisitos mínimos exigidos para edifícios novos ou sujeitos a grandes intervenções.

Tabela 1.1 Caracterização dos consumos a considerar no cálculo do IEE. Adaptado da Portaria n.º 17-A/2016⁽⁴⁾

Consumos considerados no IEE _s	Consumos considerados no IEE _t
- Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humedificação e desumidificação	- Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica
- Ventilação e bombagem em sistemas de climatização	- Equipamentos de frio
- Aquecimento de águas sanitárias e piscinas	- Iluminação dedicada e de utilização pontual
- Iluminação interior e exterior	- Todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos em IEE _s
- Elevadores, escadas e tapetes rolantes	

Para a aplicação da equação anterior é necessária a determinação dos IEE (Indicadores de Eficiência Energética) de um edifício que podem ser do tipo S contabilizado para o processo de certificação, ou T contabilizado apenas para o IEE global.

Os consumos para cada IEE estão indicados na Tabela 1.1 e podem ser determinados através de 3 métodos diferentes⁽⁵⁾: a) previsão do IEE_{previsto} por simulação dinâmica multizona; b) previsão do

⁽³⁾ Artigo 32.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto na sua redação atual

⁽⁴⁾ n.º 1.3 do Anexo I da Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de fevereiro na sua redação atual

⁽⁵⁾ n.º 3.1, do Anexo I da Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de fevereiro na sua redação atual

IEE_{previsto} por cálculo dinâmico simplificado; c) determinação do IEE_{efectivo} por consumo efetivo. Para edifícios de serviços, de acordo com a Tabela I.02 da Portaria 17-A/2016, o método base consiste na determinação por consumo efetivo, no entanto o método alternativo sugerido é o cálculo através de simulação dinâmica multizona.

Em 2017, na Europa o sector dos edifícios foi responsável por 41% do consumo final de energia (Figura 1.3A). Para Portugal este valor é apenas de 29% (Figura 1.3B), no entanto representa mais de 25% de toda a energia final consumida.

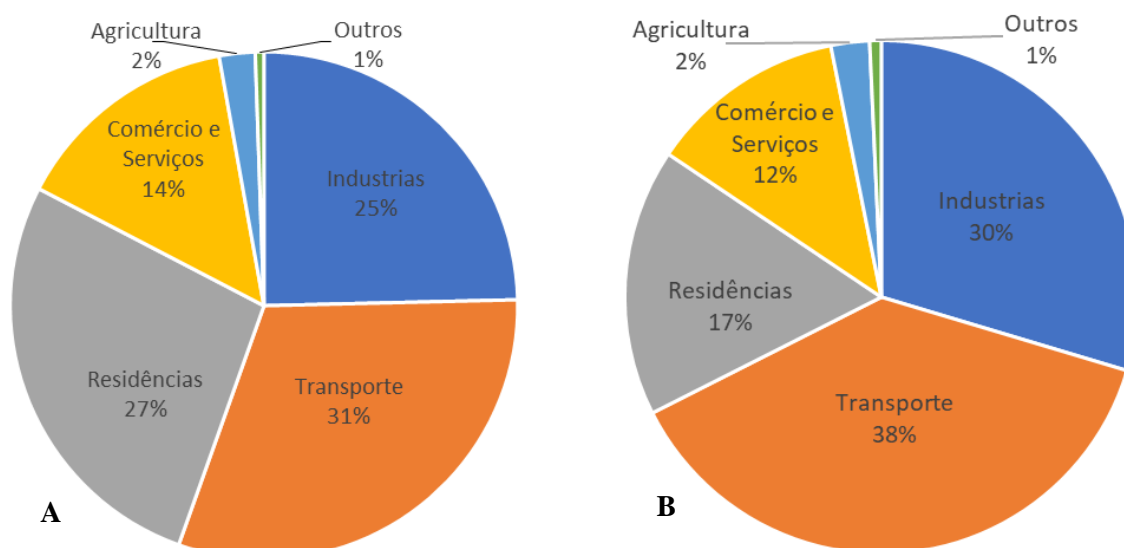


Figura 1.3 - Gráfico do Consumo Final de Energia em % na UE (A) e Portugal (B) [3].

Desde 2000 até 2015 existiu um crescimento na eficiência energética em Portugal de cerca de 1.9%, sendo este feito atribuído aos 3 sectores com maiores percentagens de energia final consumida [4]. O crescimento do sector dos edifícios residenciais foi de cerca de 2.5 % neste intervalo de tempo, o maior de todas as categorias, o que pode ser explicado devido a medidas de eficiência energética implementadas nas residências as quais representam uma poupança direta para o consumidor final. Este crescimento é refletido nas Figura 1.4 e Figura 1.5 através da redução dos consumos finais de energia, entre 2005 e 2015, de cerca de 10,5% na EU e 21% em Portugal. Quando considerado o intervalo até 2017 a redução observada é de 7% e 20% respetivamente.

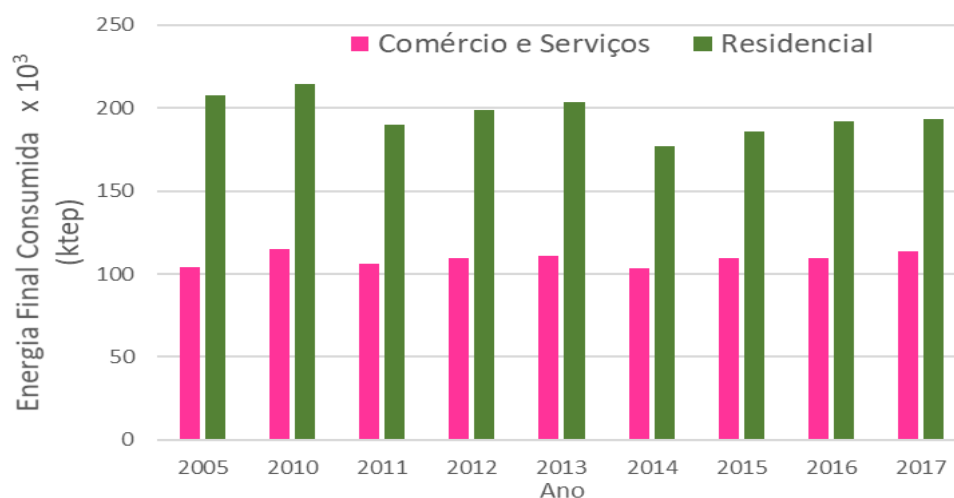


Figura 1.4 - Energia consumida pelo sector de edifícios na UE28 [3].

Com base no gráfico da *Figura 1.4*, observa-se que para a Europa e no caso dos edifícios de comércio e serviços a mesma tendência não foi observada, existindo um aumento de quase 5% entre 2005 e 2015, e 9% quando considerado o intervalo até 2017. Este aumento pode estar associado à recuperação económica e principalmente ao crescimento do sector comercial e suas atividades. Apesar disso, e como se observa na *Figura 1.5*, no caso de Portugal existiu uma redução de 12% no total de toneladas equivalentes de petróleo consumidas, valor elevado mas ainda assim inferior à redução observada no sector residencial.[8]

Apesar da redução geral observada entre 2005 e 2015, é de notar que ocorreu um aumento ligeiro no sector dos serviços de 2014 para 2015 (*Figura 1.5*). Assim sendo, é possível assumir que já não é viável manter a tendência da redução de energia apenas com intervenções simples e pouco direccionadas num sector que se encontra em crescimento constante.

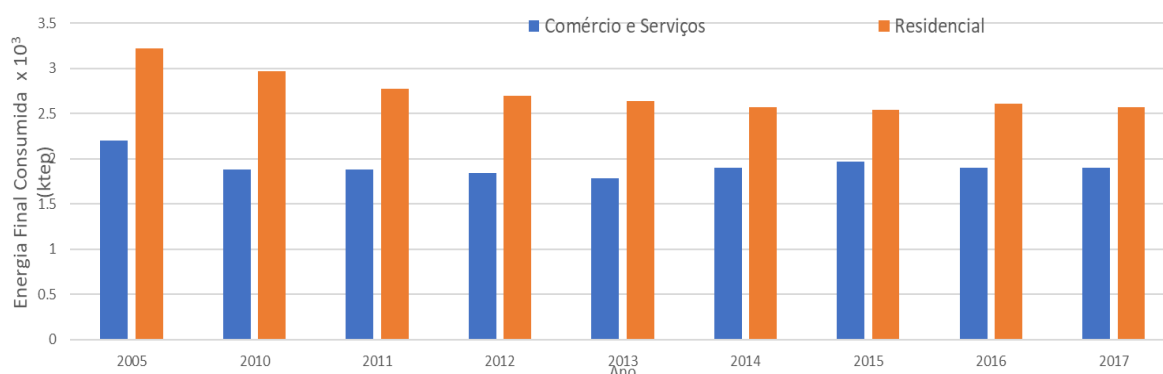


Figura 1.5 -Energia consumida pelo sector de edifícios em Portugal [3].

Em suma, é necessário inverter este processo. Para o fazer existem três principais tipos de abordagem: o aumento da eficiência energética dos equipamentos, maior penetração de energia renováveis na rede e alteração dos padrões comportamentais dos utilizadores. Analisando o padrão de utilização entre habitações, observam-se semelhanças que permitem facilmente detetar quais os comportamentos e equipamentos cujo impacto no consumo final será maior. No entanto, no contexto dos edifícios de comércio e serviços não existe uma utilização padrão e os equipamentos utilizados variam bastante de caso para caso. Esta variabilidade torna a identificação das maiores fontes de consumo significativamente mais difícil e consequentemente dificulta a procura das melhores soluções energéticas.

A certificação energética além de considerar as energias renováveis instaladas num edifício, envolve analisar, compreender e intervir caso-a-caso. Deste modo cria-se a possibilidade de localizar e descobrir as componentes e tipos de utilização responsáveis por grandes consumos. Isto permite uma intervenção personalizada e melhor direccionada ao cumprimento das metas europeias para redução das emissões de CO₂, sem nunca menosprezar o bem-estar do utilizador ou prejudicando financeiramente o provedor de serviços.

1.2. Objetivos

A tese de dissertação com o tema: “Certificação Energética do Teclabs”, tem como objetivo avaliar a classe energética de um edifício desenhado para albergar diferentes atividades associadas à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. O edifício é composto por 3 pisos, um deles subterrâneo, inclui diversos tipos de espaço: laboratórios experimentais; auditórios; gabinetes; zonas de arrumação; e entre outros.

Em primeiro lugar pretende-se identificar quais as componentes e zonas do objeto de estudo responsáveis pelos maiores consumos. Isto permite reconhecer quais destas cumprem as medidas de

conforto dos utentes, quais não o fazem, e ainda identificar quais têm maior potencial para medidas de otimização.

Em segundo lugar, a certificação energética do Teclabs pretende comparar o consumo real do edifício com o do edifício de referência, de modo a poder atribuir uma classe energética que classifique corretamente o seu desempenho. Este consumo de referência é o expectável de um edifício de serviços de dimensões e características semelhantes ao original.

Por último, o objetivo será propor um conjunto de medidas de melhorias, avaliar o impacto de cada uma na energia final despendida, na classificação energética do edifício, e ainda o seu potencial de retorno financeiro. Deste modo é possível comparar e escolher as melhores alterações a serem implementadas e averiguar quais os incentivos fiscais que podem advir da sua execução (por exemplo, a redução do IMI).

1.3. Estrutura

Esta dissertação de mestrado está organizada do seguinte modo:

No Capítulo 2 é feita uma introdução e contextualização dos princípios teóricos gerais que se consideram mais relevantes para a compreensão do trabalho realizado.

No Capítulo 3 realiza-se uma descrição do processo de auditoria ao edifício

No Capítulo 4 é apresentada uma descrição da metodologia utilizada no processo de criação dos modelos de simulação dinâmica.

No Capítulo 5 encontram-se os resultados obtidos da análise do capítulo anterior, com identificação das maiores fontes de consumo e áreas com maior potencial de redução ou poupança

No Capítulo 6 são propostas diferentes medidas de racionalização de consumo de energia (MRCE) com base nos resultados obtidos no capítulo anterior. Posteriormente é analisado o impacto individual e coletivo das medidas sugeridas, no consumo final de energia e na classificação energética do edifício. Por fim é realizada uma análise financeira que permitirá compreender qual o retorno financeiro associado a cada medida e os respetivos investimentos associados.

Por fim, no Capítulo 7 é realizada uma análise de resultados onde serão retiradas as conclusões principais sobre o objeto de estudo e quais as medidas de melhoria passíveis de serem implementadas.

2. Fundamentos Teóricos

2.1. Mecanismos de Transferência de calor

De modo a compreender o comportamento térmico de um edifício é fundamental perceber o que é o fenómeno da transferência de calor e quais os principais mecanismos de transferência de calor.

A transferência de calor é energia térmica que está em movimento devido a um gradiente espacial de temperatura. Este fenómeno ocorre sempre que existe diferença de temperatura num único meio ou entre dois ou mais meios [5].

Como apresentado na Figura 2.1 existem 3 modos de transferência de calor. Sempre que se observa em meio estacionário, seja este um sólido ou um fluido, um gradiente de temperatura, a transferência de calor que ocorre através desse meio é descrita como condução. Em oposição a este termo, existe a convecção que se refere à transferência de calor entre uma superfície e um fluido em movimento sempre que estes estejam a temperaturas diferentes. Por último existe a radiação térmica que consiste na transferência de calor na forma de ondas eletromagnéticas entre duas superfícies a temperaturas diferentes. Deste modo, mesmo que não existe um meio de ligação entre estas a transferência de calor entre as superfícies continuará a ocorrer.

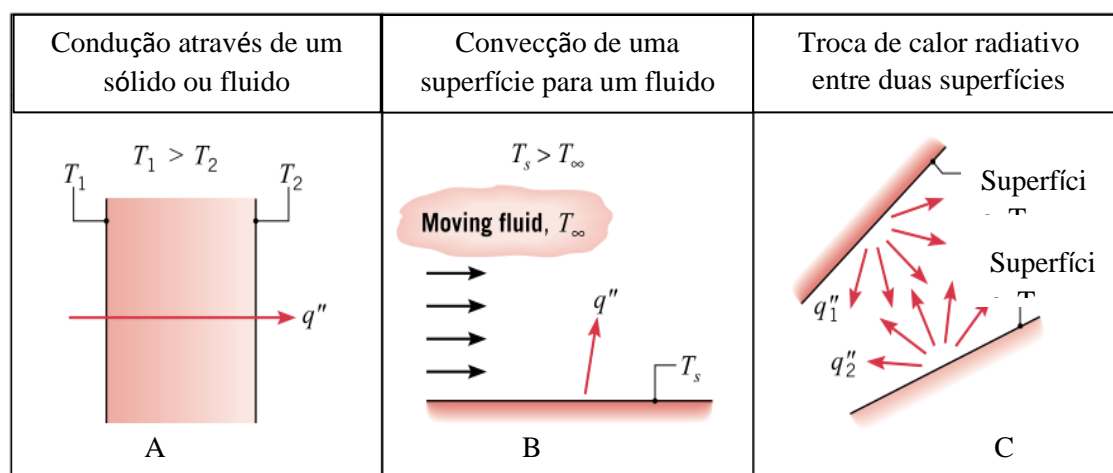


Figura 2.1 - Processos de transferência de calor. A) Condução B) Convecção C) Radiação. Adaptado de [5]

2.2. Modelação de transferência de energia em Edifícios

Após a compreensão dos mecanismos apresentados anteriormente podemos então começar por avaliar o comportamento térmico de um edifício. O consumo energético de um edifício é influenciado por múltiplos fatores, dos quais devemos destacar as condições atmosféricas exteriores, o tipo de construção e respetivas propriedades térmicas e físicas dos materiais utilizados, os perfis de ocupação do edifício, eficiência de equipamentos, de sistemas de iluminação e AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado), assim como todos os horários de utilização [6].

Com base nestes fatores principais é possível criar o seguinte conjunto simplificado de parâmetros cujo objetivo é equacionar o equilíbrio térmico num edifício:

- Ganhos internos – calor gerado no interior do edifício devido à atividade metabólica dos ocupantes, sistemas de iluminação e equipamentos elétricos;
- Ganhos solares – radiação que incide na envolvente do edifício, sendo que aquela que atinge os vãos envidraçados tem geralmente um maior contributo energético.

$$G_{solares} = A_{envidraçada} \cdot F_{solar} \cdot (I_{directa} \cdot \cos(altitude) \cdot \cos(azimute) + I_{difusa}) \quad (2.1)$$

Onde:

- $A_{envidraçada}$ = Área de vão envidraçado, [m²];
- F_{solar} = Factor solar;
- $I_{directa}$ = Irradiância solar direta, [W/m²];
- I_{difusa} = Irradiância solar difusa, [W/m²]
- Altitude solar, [°]
- Azimute solar, [°]

- Carga de climatização – Fluxos de calor associados aos sistemas de climatização;

$$G_{climatização} = \rho \cdot C_p \cdot \dot{V} \cdot (T_{insuflado} - T_{interior}) \quad (2.2)$$

Onde:

- ρ = densidade do fluido, [kg/m³];
- $T_{insuflado}$ = Temperatura do ar insuflado, [°C];
- $T_{interior}$ = Temperatura do ar interior, [°C];
- C_p = Calor específico do fluido [J/(kg.K)];
- \dot{V} = Caudal volúmico de ventilação, [m³/s].

▪ Ganhos de ventilação – Ganhos ou perda de energia devido à ventilação do edifício. Esta pode acontecer de forma natural ou com recurso a sistemas mecânicos;

$$G_{ventilação} = \rho \cdot C_p \cdot \dot{V} \cdot (T_{exterior} - T_{interior}) \quad (2.3)$$

Onde:

- ρ = densidade do fluido, [kg/m³];
- $T_{exterior}$ = Temperatura do ar exterior, [°C];
- $T_{interior}$ = Temperatura do ar interior, [°C];
- C_p = Calor específico do fluido [J/(kg.K)];
- \dot{V} = Caudal volúmico de ventilação, [m³/s]

▪ Transferência de calor pela envolvente do edifício: Ganhos ou perdas de energia por condução, convecção e radiação através da envolvente do edifício.

$$TE_{superfície} = \sum_{k=1}^n A_k \cdot U_k \cdot (T_{exterior} - T_{interior}) \quad (2.4)$$

Onde:

- U_k = Coeficiente de transmissão térmica da superfície k, [W/(m².K)];
- A_k = Área da superfície k, [m²];
- $T_{exterior}$ = Temperatura do ar exterior, [°C];
- $T_{interior}$ = Temperatura do ar interior, [°C].

Existe ainda um outro parâmetro a acrescentar na equação de balanço térmico num edifício, sendo ele a energia do ar interior que pode ser descrita através da expressão (2.5).

$$E_{ar} = \rho \cdot C_p \cdot V \frac{(T_{exterior} - T_{interior})}{\partial T} \quad (2.5)$$

Onde:

- V = Volume de ar do espaço, [m³];
- ρ = densidade do fluido, [kg/m³];

O balanço entre todos estes parâmetros está esquematizado na Figura 2.2 e é traduzido em regime estacionário pela expressão (2.6).

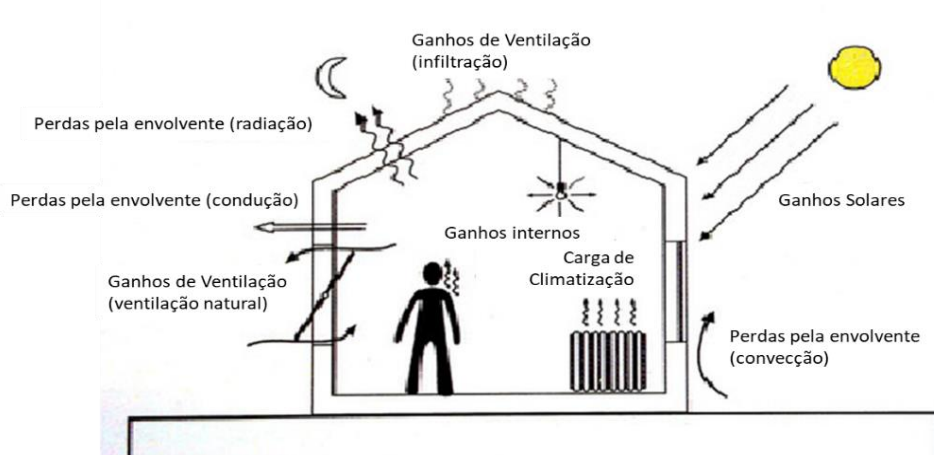


Figura 2.2 - Esquema das componentes do balanço térmico de um edifício. Adaptado de [7]

$$G_{\text{internos}} + G_{\text{solares}} + G_{\text{ventilação}} + G_{\text{climatização}} = E_{\text{ar}} + TE_{\text{superfície}} \quad (2.6)$$

A compreensão da importância dos fatores apresentados e deste balanço é fundamental para a utilização de *software* de simulação computacional em edifícios.

2.3. Simulação Dinâmica Computacional

As equações apresentadas na secção anterior são de fácil resolução no caso de se pretender calcular o balanço energético para um espaço reduzido e num instante específico. No contexto de um edifício completo, para se realizar uma análise do comportamento térmico ao longo de intervalos de tempo maiores, como por exemplo meses ou até um ano, é necessário recorrer a ferramentas de simulação dinâmica. Estas ferramentas são consideradas **métodos de previsão pois através de cálculos dinâmicos simplificados procuram** prever o comportamento do edifício. Existem também métodos de medição, baseados em faturas de consumo de energia ou mesmo na monitorização do consumo dos equipamentos presentes no edifício. A união destas duas metodologias origina um método híbrido, que combina a simulação dinâmica com os consumos reais, culminando num modelo de estudo calibrado[8].

Nesta dissertação o software utilizado para modelar o edifício do TecLabs é o EnergyPlusV8.3.0 (EP), sendo necessária a recolha e compilação de alguns dados para que através do programa possam ser replicados os comportamentos e consumos que permitem avaliar o desempenho energético do objeto de estudo.

Tal como referido no capítulo 1, para um edifício com mais que uma zona térmica adequa-se a simulação dinâmica multizona, e na Figura 2.3 encontra-se esquematizado o processo de criação de um modelo em EP.

Numa primeira abordagem, de modo a conhecer as dimensões de cada divisão e soluções construtivas presentes no edifício, é recolhida informação acerca do projeto de construção, tal como os materiais utilizados, as plantas e cortes.

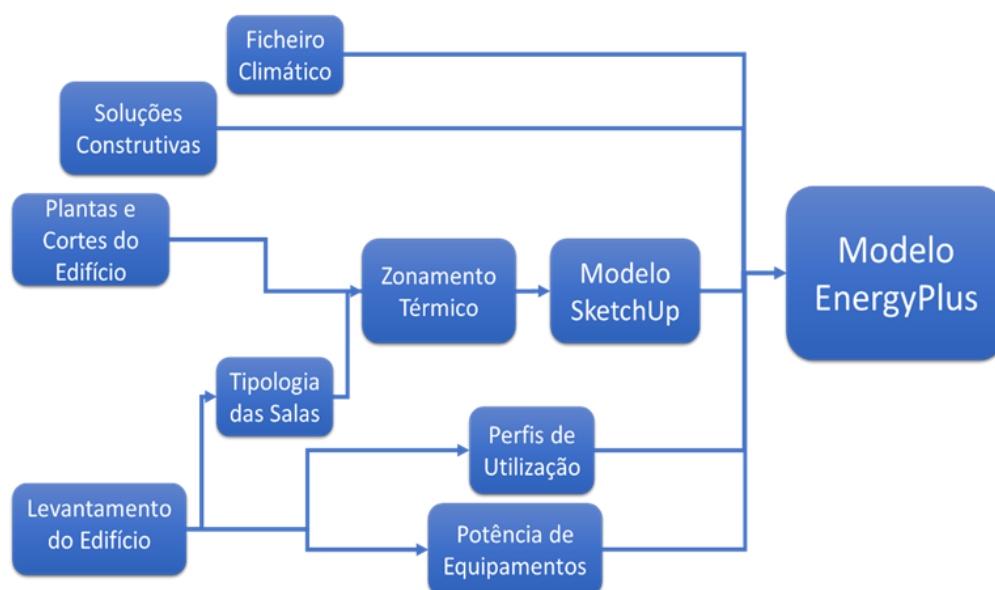


Figura 2.3 - Simplificação do Processo de Criação de um Modelo em EnergyPlus

Após esta primeira etapa é realizado o levantamento do edifício que inclui a luminosidade das salas, recorrendo a um luxímetro, e a potência dos equipamentos presentes. Isto inclui computadores, sistemas de aquecimento e ventilação, iluminação, equipamentos específicos de laboratório, e ainda os respetivos horários de utilização. Ao longo deste processo verifica-se quais os sistemas AVAC que possam estar associados ao sistema central do edifício e quais os que são independentes. Simultaneamente associa-se a cada divisão um horário e tipo de ocupação, informação fundamental na fase de zonamento térmico do edifício.

Ao cruzar esta informação com a tipologia das salas determinada no passo anterior, é possível definir um zonamento térmico para o objeto de estudo, de acordo com a definição de zona térmica apresentada no capítulo 1. Consequentemente, é criado um modelo geométrico com base nas zonas apuradas utilizando o programa SketchUp Make 2015® e, através de um *plug-in* designado Legacy OpenStudio v1.0.13, exporta-se o desenho para EP.

Quando o modelo geométrico é corretamente exportado para o EP, é possível então começar a inserir os diferentes parâmetros que caracterizam o comportamento térmico do edifício. As informações recolhidas durante a fase de levantamento serão utilizadas para definir os ganhos internos, de ventilação e climatização. Estes parâmetros aliados à geometria do edifício, propriedades dos materiais e com a introdução de um ficheiro climático representativo do clima do local de estudo permitem a criação de um modelo funcional e respetiva simulação dinâmica.

2.4. Validação de modelos de simulação dinâmica

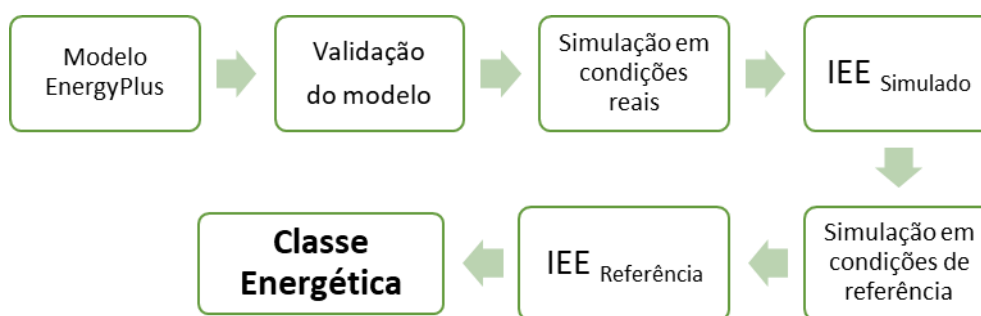


Figura 2.4 - Processo de obtenção da classe energética de um Edifício de Serviços

Após a criação do modelo é fundamental a calibração e validação do mesmo, pois este processo permitirá estimar corretamente a poupança associada a cada medida de eficiência energética aplicada [8]. Podem existir três métodos diferentes para avaliar a precisão de um software de simulação dinâmica [9], sendo eles:

- Validação empírica – baseada na comparação entre os valores obtidos pelo software utilizado e os valores reais obtidos para o objeto de estudo simulado.
- Verificação Analítica – a comparação dos resultados obtidos para um mecanismo de transferência de calor, sob simples e definidas condições de fronteira, com os resultados obtidos por um outro método analítico reconhecido cientificamente.
- Testes Comparativos – Os resultados de um programa são comparados com outros obtidos por si próprio ou por outros softwares considerados validados e fisicamente mais precisos e representativos da realidade.

Na presente dissertação a abordagem utilizada foi a empírica em que os resultados são comparados com os valores reais para o modelo em questão, no entanto dentro desta, pode ainda ser realizada uma validação idealista ou uma validação realista

[10]. Na primeira abordagem, o modelo de simulação apenas pretende replicar determinados fenómenos físicos em condições específicas, normalmente associada a células de teste com comportamentos controlados e sob constante monitorização que servem de base para a comparação dos resultados. Já na segunda abordagem o objetivo não se prende só com os fenómenos físicos associados à simulação, mas também com a correta representação dos horários de utilização e comportamento dos utilizadores do edifício real. A validação realista tem por base auditorias e informações à cerca dos consumos reais do edifício em estudo e foi esta a metodologia optada durante a validação e calibração do modelo.

De acordo com o documento de perguntas e respostas disponibilizado pela ADENE em Outubro de 2019⁽⁶⁾, para a simulação dinâmica multizona de um grande edifício de comércio e serviços considera-se parte de um procedimento de boas práticas, a calibração e validação do modelo até ser atingido um erro médio anual menor ou igual a 10% em relação aos consumos de energia reais.

Calibra-se o modelo de modo gradual, comparando os parâmetros de maior impacto na simulação e na realidade ajustando quando os primeiros não são representativos dos segundos. Idealmente este processo de calibração incluiria a comparação com medições reais dos consumos de zona ou equipamentos associados, no entanto essa opção não foi possível para o caso de estudo em questão. Não obstante, apenas com consumos e utilizações estimadas durante a fase de auditoria é possível calibrar o modelo procurando que os consumos anuais previstos pelo EP coincidam com os presentes nas faturas de consumo energético.

⁽⁶⁾ questão P.27 do documento do SCE de Perguntas & Respostas de Outubro de 2019 na sua atual redação.

Depois de validado, o modelo criado replica os consumos reais e fica então apto para avaliar o desempenho individual dos vários sistemas presentes no edifício, nomeadamente aquecimento, arrefecimento e iluminação, contrastando as suas eficiências com as eficiências de referência para os mesmos sistemas a funcionar nas condições padrão. Os consumos por tipo de energia primária e também por tipologia de divisão que devem ser incluídos no certificado energético são também determinados nesta fase através da simulação, no sentido de compreender quais os tipos medidas de melhoria que podem surtir maior impacto no utilizador e no total de energia consumida.

Previamente a se inserir e simular no modelo computacional as possíveis medidas de melhoria, é necessário determinar a classe energética do edifício. Para isso é replicada a geometria do nosso modelo real, mas que quando for exportado para o EP ser-lhe-á associado um perfil de utilização de referência, assim como potências e eficiências definidas no RECS. Este novo modelo permite simular um consumo de referência para um edifício idêntico, que será então utilizado através da expressão (1.1) para determinar a classificação energética.

3. Descrição do Edifício e Auditoria Energética

Neste capítulo são apresentados os resultados do levantamento efetuado no âmbito da Auditoria energética, nomeadamente a caracterização do edifício através da descrição da sua envolvente (opaca e transparente), dos sistemas de climatização e ventilação, sistemas de produção de águas quentes sanitárias e sistema de iluminação existentes.

Tabela 3.1 - Elementos mínimos a considerar no levantamento e/ou caracterização do edifício para efeitos de aplicação do método de simulação dinâmica multizona. Adaptado da Portaria nº17-A/2016

Elemento	Aspeto(s) a levantar/caraterizar por zona térmica
Volumetria	- Tipo de espaço - Pé-direito - Áreas em contato com o solo, áreas totais do pavimento do espaço, da envolvente vertical e da envolvente horizontal, exterior e interior, opaca e envidraçada.
Envolvente	- Materiais de construção ou características térmicas das soluções construtivas - Inércia térmica ou propriedades dos materiais
Ocupação	- Densidade e perfil de ocupação do espaço;
Sistemas de Climatização	- Tipo e características técnicas dos sistemas para aquecimento e/ou arrefecimento e respetivo perfil de funcionamento - Tipo e características técnicas dos sistemas mecânicos de extração e/ou insuflação de ar novo e respetivo perfil de funcionamento - Apenas no caso de grandes edifícios de comércio e serviços existentes, o rendimento de caldeiras com potência térmica nominal superior a 100 kW determinada por medição efetiva ou por monitorização.
Água quente sanitária e de piscinas	- Tipo e características técnicas do(s) sistema(s) de aquecimento de água sanitária e de piscinas, incluindo o respetivo consumo diário
Iluminação	- Tipos e potências dos equipamentos de iluminação artificial interior e exterior e respetivo perfil de funcionamento
Ascensores	- Potência do(s) motor(es), tempo médio em manobra, carga nominal e velocidade nominal
Outros equipamentos e consumos	Densidade e perfil de utilização dos equipamentos cuja dissipação de energia ocorra para o espaço - Outros consumos (média anual) que não resultam em cargas térmicas para os espaços considerados

O processo de levantamento efetuado teve como base os elementos e requisitos mínimos apresentados na Tabela 3.1, adaptados da Portaria nº17-A/2016 ⁽⁷⁾.

⁽⁷⁾ N°3.2, Tabela I.3 do Anexo I da Portaria 17-A/2016 na sua actual redação

3.1. Edifício

O Edifício do TecLabs no Campo Grande constitui uma infraestrutura dirigida a atividades de investigação. Construído no início da década de 80, este edifício é essencialmente composto por gabinetes e laboratórios de investigação, com exceção de casas de banho e algumas salas reservadas a reuniões e palestras, distribuídos por 4 pisos: Piso 0, 1, 2 e 3.



Figura 3.1 - Fotografias do edifício Teclabs da FCUL. Vista fachada Sul (A). Vista aérea (B).

No Piso 0 encontra-se uma grande maioria de áreas de arrumação e alguns gabinetes e laboratórios. No Piso 1 e 2, existe uma grande zona de gabinetes na fachada Poente oposta a uma zona de laboratórios do lado nascente. No lado Sul do Piso 1 localiza-se a entrada do edifício, a receção, salas de reunião e alguns gabinetes. Na lateral Norte do mesmo andar existem gabinetes e laboratórios. Para o caso do piso 2 a zona Sul é ocupada por um auditório e gabinetes e a zona Norte maioritariamente por laboratórios. Por último o Piso 3 tem apenas algumas zonas da tipologia gabinete e arrumos, sendo que a sua área interior útil é inferior à dos restantes pisos.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013⁽⁸⁾, uma zona térmica designa-se como um espaço ou conjunto de espaços passíveis de serem considerados em conjunto devido às suas similaridades em termos de exposição solar, perfil de utilização, iluminação e equipamentos, ventilação mecânica e sistema de climatização. Tendo por base o levantamento efetuado e este conceito, foi possível realizar o zonamento térmico para cada piso do edifício, cujo resultado se encontra apresentado na Figura 3.2. No Anexo A, na Tabela A1 encontra-se descritos os espaços que estão associados a cada zona térmica e respetivo piso onde se inserem.

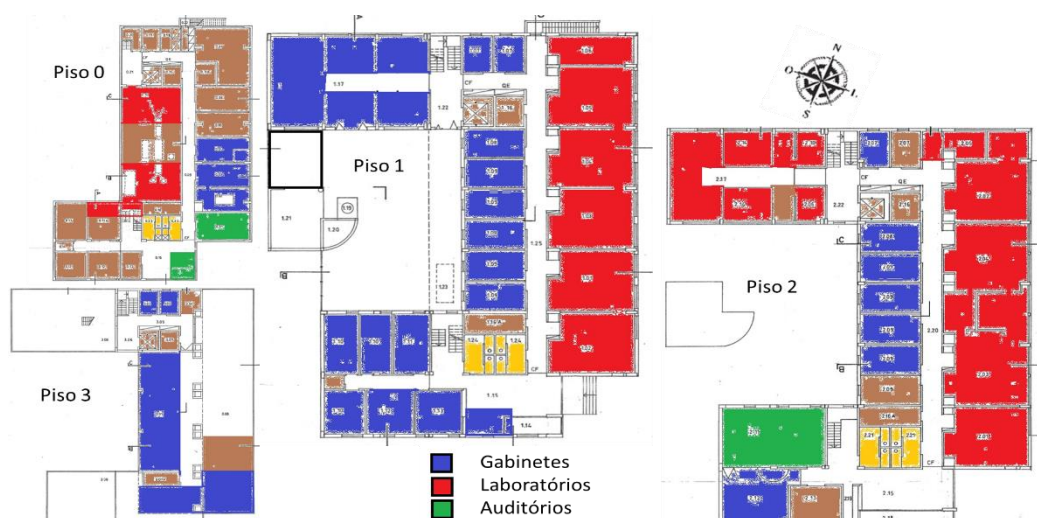


Figura 3.2 - Zonamento adotado para o edifício do TecLabs

⁽⁸⁾ N.º eee) do Artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto na sua redação atual

Após este processo é necessário determinar a área interior útil de pavimento de modo a enquadrar o objeto de estudo como um pequeno ou grande edifício de serviços. De acordo com o Decreto-Lei nº 118/2013⁽⁹⁾ e no âmbito do RECS a área interior útil de pavimento está definida como o somatório da área de pavimento de todas as zonas térmicas do edifício ou fração, desde que tenham consumo de energia elétrica ou térmica, registado no contador, independentemente da sua função e da existência de sistema de climatização, sendo a área medida pelo interior dos elementos que delimitam as zonas térmicas do exterior e entre si. O valor obtido para este parâmetro foi de 3132 m².

Também de acordo com as definições apresentadas no Decreto-Lei nº118/2013⁽¹⁰⁾ temos que um grande edifício de comércio e serviços (GES), é o edifício de comércio e serviços cuja área interior útil de pavimento, subtraindo os espaços complementares, iguale ou ultrapasse os 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas. Temos ainda que espaço complementar é uma zona térmica sem ocupação humana permanente atual ou prevista e sem consumo de energia atual ou previsto associado ao aquecimento ou arrefecimento ambiente, incluindo cozinhas, lavandarias e centros de armazenamento de dados⁽¹¹⁾. Sendo que a área correspondente a espaços complementares no Teclabs é inferior a 1000 m², considera-se o Teclabs um grande edifício de serviços (GES).

Durante a auditoria foram disponibilizadas as faturas elétricas referentes ao ano civil de 2018 e correspondentes a todo o edifício. O comercializador de energia para o Teclabs é a Iberdrola e na Tabela 3.2 encontram-se as tarifas aplicadas por esta empresa para o ano de 2018 e 2019.

Tabela 3.2 - Tarifas de energia elétrica aplicadas ao TecLabs

Horas	Energia Ativa [€/kWh]		Termos de Redes de Energia [€/kWh]		Potência em Horas de Ponta [€/kW]	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Vazio	0.0717	0.0561	0.0215	0.0305	-	-
Super Vazio	0.0535	0.0419	0.0192	0.0282	-	-
Cheia	0.0780	0.0611	0.0531	0.0612	-	-
Ponta	0.0839	0.0657	0.0742	0.0721	0.4556	0.5048

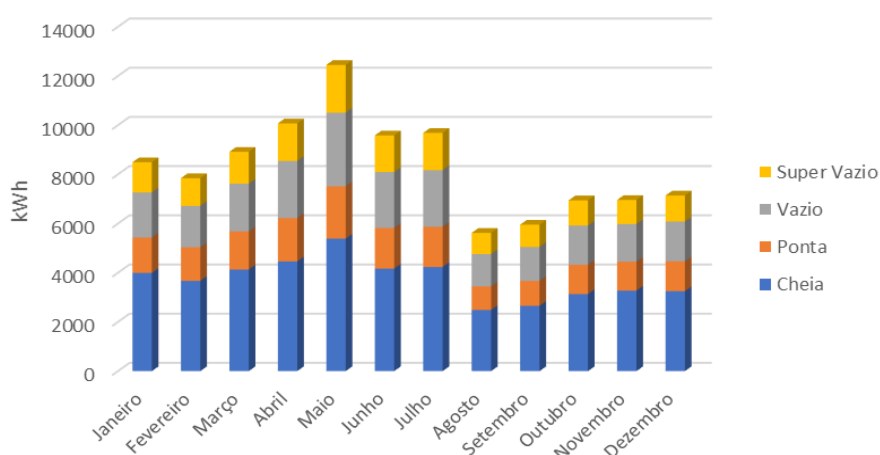


Figura 3.3 - Consumo mensal de energia elétrica do ano 2018 para o Teclabs.

Também com a informação disponível nas faturas foi possível elaborar o gráfico apresentado na Figura 3.3 e concluir que a totalidade de energia elétrica consumida é de 99 673kWh com um custo médio de aproximadamente 0.1907 €/kWh e custo total de 19009.71 €. A desagregação dos consumos por utilização final será posteriormente calculada utilizando simulação dinâmica multizona.

⁽⁹⁾ N° e) do Artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto na sua redação atual

⁽¹⁰⁾ N° ff) do Artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto na sua redação atual

⁽¹¹⁾ N° aa) do Artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto na sua redação atual

3.2. Dados Climáticos

Os dados climáticos necessários à realização do processo de certificação energética foram obtidos através da folha de cálculo disponibilizada pelo LNEG (CLIMAS-SCE 1_05.xlsm)

[11]. As principais características do clima da região onde se insere o TecLabs estão apresentadas na Tabela 3.3.

A temperatura mensal média do solo a 0.5 e a 4 metros de profundidade, cuja evolução anual se encontra representada na

Figura 3.4, foi outro dado climático relevante obtido através dos ficheiros climáticos disponibilizados pela plataforma online do EP [12].

Tabela 3.3 - Dados Climáticos para a região do NUTS 3: Grande Lisboa

Dados Climáticos	
Altitude	80 m
Graus-dia (18°C)	1071
Temperatura média exterior (I/V)	10.8/21.7 °C
Zona Climática de Inverno	I1
Zona Climática de Verão	V2

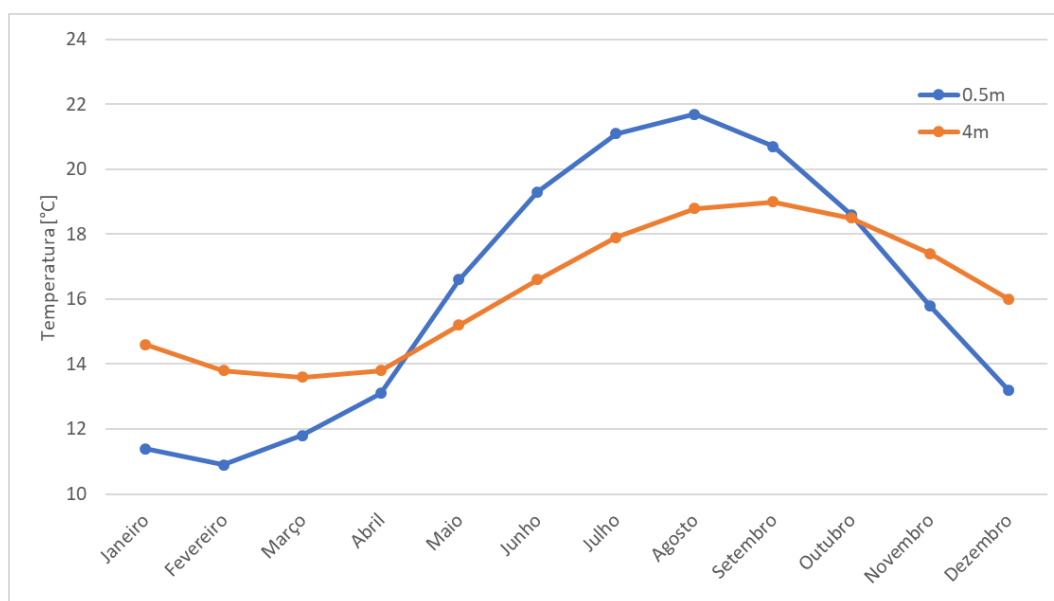


Figura 3.4 - Temperatura Mensal Média do Solo a 0.5 e 4 m de profundidade

3.3. Soluções construtivas

Neste capítulo é feita a caracterização das soluções construtivas, nomeadamente a envolvente térmica do edifício. Para tal teve-se em consideração os dados fornecidos pela equipa do TecLabs aquando da visita técnica ao edifício, os detalhes construtivos disponibilizados pela equipa de Manutenção da FCUL e ainda a informação referente a soluções típicas indicadas nas publicações técnicas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), nomeadamente ITE 50

[13].

Os valores do coeficiente global de transferência de calor (U) atribuídos às soluções construtivas e apresentados ao longo desta secção contabilizam a resistência térmica superficial do ar de acordo com a Tabela abaixo.

Tabela 3.4 - Resistências Térmicas Superficiais. [13]

Sentido do Fluxo de Calor		Resistência Térmica Superficial [(m ² .°C)/W]	
		Exterior R _{se}	Interior R _{si}
Horizontal		0.04	0.13
Vertical	Ascendente	0.04	0.10
	descendente	0.04	0.17

3.3.1 Envolvente Exterior Opaca

As paredes exteriores do edifício do TecLabs no Campo Grande são paredes duplas de alvenaria de tijolo furado com caixa-de-ar e sem isolamento térmico. Os revestimentos exterior e interior considerou-se serem em reboco pintado e estucado em todo o edifício. No caso do Piso 0 as paredes exteriores encontram-se em contacto com o chão, sendo a única diferença no revestimento exterior o facto de ser composto por apenas uma parede de betão.

Paredes exteriores - geral

Tabela 3.5 - Caracterização da solução construtiva definida para as Paredes Exteriores

Descrição	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/mK]	R [m ² K/W]	Massa volúmica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg·K]
Reboco exterior	0.02	1.80	0.01	2000	840
Alvenaria de tijolo furado	0.15	0.38	0.39	700	800
Caixa-de-ar	0.08	1.67	0.18	1.2	1003
Alvenaria de tijolo furado	0.11	0.41	0.27	700	800
Reboco interior estucado	0.02	1.80	0.01	2000	840
Coeficiente de transmissão térmica total U [W/(m ² ·K)] =			0.97		

Paredes exteriores chão

Tabela 3.6 - Caracterização da solução construtiva definida para as Paredes Exteriores em contacto com o Solo

Descrição	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/mK]	R [m ² K/W]	Massa volúmica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg·K]
Enrocamento	0.4	2	0.2	2200	900
Laje de betão armado	0.17	1.65	0.1	2000	840
Caixa-de-ar	0.06	1.7	0.18	1.2	1003
Alvenaria de tijolo furado	0.07	0.37	0.19	700	800
Reboco interior estucado	0.02	1.8	0.01	2000	840
Coeficiente de transmissão térmica total U [W/(m ² ·K)] =			1.18		

3.3.2 Envolvente exterior horizontal opaca

A envolvente exterior horizontal opaca do edifício pode ser caracterizada através de 3 tipos de construção sendo elas a Cobertura Exterior situada acima do Piso 2 e Piso 3, a Cobertura do Piso 0 que corresponde ao pátio interior situado em frente ao bar, e por fim o Pavimento em contacto com o solo.

Cobertura Exterior

Tabela 3.7 - Caracterização da solução construtiva definida para as Coberturas Exteriores

Descrição	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/mK]	R [m²K/W]	Massa volúmica [kg/m³]	Calor específico [J/kg·K]
Betonilha esquartelada	0.05	1.8	0.03	1000	840
Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)	0.04	0.037	1.08	33	1550
Camada de forma	0.05	1.8	0.03	1000	840
Camada de forma	0.05	1.8	0.03	1000	840
Laje de betão	0.35	1.65	0.21	2000	840
Coeficiente de transmissão térmica total U [W/(m².K)] =			0.65		

Cobertura Exterior Piso 0

Tabela 3.8 - Caracterização da solução construtiva definida para a Cobertura Exterior do Piso 0

Descrição	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/mK]	R [m²K/W]	Massa volúmica [kg/m³]	Calor específico [J/kg·K]
Calçada tipo soplas	0.08	1.1	0.07	2100	837
betonilha esquartelada	0.13	1.8	0.07	1000	840
XPS	0.04	0.037	1.08	33	1550
betonilha esquartelada	0.05	1.8	0.03	1000	840
Laje betão Armado	0.15	1.65	0.09	2000	840
Reboco	0.02	1.8	0.01	2000	840
Coeficiente de transmissão térmica total U [W/(m².K)] =			0.67		

Pavimento em contacto com o solo

Tabela 3.9 - Caracterização da solução construtiva definida para o Pavimento em contacto com o solo

Descrição	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/mK]	R [m²K/W]	Massa volúmica [kg/m³]	Calor específico [J/kg·K]
-----------	---------------	--------------------------------------	--------------	------------------------------	---------------------------------

Enrocamento	0.25	2	0.13	2200	900
Laje de betão	0.20	1.65	0.09	2000	840
Mosaico hidráulico ou cerâmico	0.06	1.3	0.02	2300	800
Coefficiente de transmissão térmica total U [W/(m².K)] =			2.17		

3.3.3 Envolvente interior horizontal opaca

Para a envolvente interior horizontal existem dois tipos de construção idênticos, cuja única diferença é o tamanho do espaço de ar entre a laje de betão e o teto falso.

Teto falso entre pisos

Tabela 3.10 - Caracterização da solução construtiva definida para o teto falso entre pisos

Descrição	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/mK]	R [m²K/W]	Massa volúmica [kg/m³]	Calor específico [J/kg·K]
Mosaico hidráulico ou cerâmico	0.03	1.3	0.02	2300	800
Laje de betão	0.35	1.65	0.21	2000	840
Caixa de ar	0.37	2.056	0.18	1.2	1003
Teto falso preso a estrutura de alumínio	0.05	0.25	0.2	825	900
Coefficiente de transmissão térmica total U [W/(m².K)] =			1.23		

3.3.4 Envolvente interior vertical opaca

Parede Interior

Tabela 3.11 - Caracterização da solução construtiva definida para as paredes interiores

Descrição	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/mK]	R [m²K/W]	Massa volúmica [kg/m³]	Calor específico [J/kg·K]
Reboco interior	0.02	1.8	0.01	2000	840
Alvenaria de tijolo furado	0.11	0.41	0.27	700	800
Reboco interior	0.02	1.8	0.01	2000	840
Coefficiente de transmissão térmica total U [W/(m².K)] =			1.82		

3.3.5 Vãos envidraçados

A caracterização dos vãos envidraçados foi realizada com base na auditoria, nos valores apresentados na Tabela 12 e 13 do Despacho nº 15793-K/2013⁽¹²⁾ e ainda através do ITE 50

⁽¹²⁾ Nº 7 do Despacho 15793-K/2013, de 3 de Dezembro

[13].

- Vãos de abrir: constituídos por janelas de vidro simples de 6mm em caixilho metálico sem corte térmico. O valor do coeficiente de transmissão térmica superficial destes vãos é $U = 6.5\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e o fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície é $g_{\perp,vi} = 0.85$. Este tipo de vão pode dispor de proteção solar exterior em estores metálicos ou interior em cortinas opacas ou estores venezianos sendo que o fator solar global do vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas é respetivamente $g_T = 0.14, 0.33$ e 0.56 .

- Vãos de abrir: constituídos por janelas de vidro duplo de 4 mm e espaço de ar de 6mm em caixilho metálico sem corte térmico. O valor do coeficiente de transmissão térmica superficial destes vãos é $U = 4.3\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e o fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície é $g_{\perp,vi} = 0.78$. Este tipo de vão pode dispor de proteção solar interior em cortinas opacas sendo que o fator solar global do vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas é respetivamente $g_T = 0.38$.

- Vãos fixos: constituídos por janelas de vidro simples de 6mm em caixilho metálico sem corte térmico. O valor do coeficiente de transmissão térmica superficial destes vãos é $U = 6.0\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, o fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície é $g_{\perp,vi} = 0.88$. Estes vãos podem dispor de proteção solar interior através de estores venezianos ou cortinas opacas, conferindo um fator solar global do vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas de respetivamente $g_T = 0.56$ e 0.33 .

3.4 Inércia Térmica

A classe de inércia de um edifício determina-se com base no valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento (I_t) e é atribuída de acordo com os parâmetros definidos na

Tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Classes de Inércia Térmica. Adaptado do Despacho nº 15793-K/2013⁽¹³⁾

Classe de inércia térmica	I_t [kg/m^2]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

De acordo com o disposto no nº6 do Despacho 15793-K/2013 a equação (3.1) é utilizada para calcular o valor de I_t , assumindo que os elementos do edifício que contribuem para o armazenamento de calor podem ser de 3 tipos:

EL1 - elementos da envolvente exterior ou elementos de construção em contacto com outras frações autónomas ou com edifícios adjacentes;

EL2 - elementos em contacto com o solo;

EL3 - elementos de compartimentação interiores (paredes e pavimentos interiores).

$$I_t = \frac{\sum M_{Si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad (3.1)$$

M_{Si} - Massa superficial útil do elemento i [kg/m^2]

A_p - Área interior útil de pavimento [m^2]

S_i - Área da superfície interior do elemento i, [m^2]

⁽¹³⁾ Nº 6 do Despacho 15793-K/2013, de 3 de Dezembro

r - Fator de redução da massa superficial útil

Na Tabela 3.13 apresentam-se os elementos construtivos que contribuem para a inércia e considerados no cálculo da classe de Inércia Térmica. A massa superficial útil por unidade de área de pavimento é superior a 150 kg/m² e inferior a 400kg/m², pelo que a classe de inércia térmica interior deste edifício é Média.

Tabela 3.13 - Cálculo da Inércia Térmica

Tipo de Elemento	Elemento de Construção	Msi [kg/m ²]	Si [m ²]	r	Total
EL1	Paredes exteriores - geral	117	1375	0.5	80438
	Cobertura Exterior	150	956	0.5	71700
	Cobertura Exterior Piso 0	150	56	0.5	4200
EL2	Paredes Exteriores Chão	150	535	0.5	40125
	Pavimento em Contacto com o Solo	150	1040	1	156000
EL3	Parede Simples	157	2355	1	369735
	Laje entre pisos 40	300	1297	0.75	291825
	Laje entre pisos 80	300	743	0.75	167175
Área total de pavimento [m²]	3132		It [kg/m²]		377

3.5 Sistemas de Climatização e Ventilação

Neste capítulo caracterizam-se os sistemas de climatização instalados no edifício. No edifício do TecLabs existem apenas em unidades do tipo *split*, compostas por uma unidade de produção (unidade exterior) e uma unidade de distribuição (unidade interior), e localizam-se apenas em pequenos espaços, tais como gabinetes e laboratórios à exceção do auditório. A

Tabela 3.14 apresenta os diferentes equipamentos de climatização existentes e o correspondente espaço onde se encontram instalados. Esta resulta de dados recolhidos durante o levantamento efetuado e das fichas técnicas correspondentes a cada aparelho, apresentadas no ANEXO A.3

Tabela 3.14 - Equipamentos de climatização existentes no edifício

	Modelo Split	COP/ SCOP	EER/ SEER	Pot. Térmica de Aquecimento [kW]	Pot. Térmica de Arrefecimento [kW]	Espaços Afetos
Split_1	MSZ-GA35VA	3.79	3.24	4	3.5	0.2.18; 1.2.2
Split_2	MSZ-GE71VA	3.83	3.33	8.1	7.1	0.2.17;
Split_3	MSZ-GE25VA	4.57	4.59	3.2	2.5	0.2.19; 1.1.2a;
Split_4	MSZ-HJ25VA	3.8	5.1	3.15	2.5	0.2.20; 1.6.11; 1.6.4; 1.6.9
Split_5	MSZ-HJ35VA	3.8	5.1	3.6	3.15	1.2.9;
Split_6	SAMSUNG	3.8	6.1	2.3	2.5	2.2.6
Split_7	HCDI_M18EUDC	3.8	6.5	5.1	5	2.2.8
Split_8	MIDEA_MSMABU	5.1	6.1	4	3.5	1.2.10; 1.2.3; 1.2.4; 1.2.6;

Split_9	PANASONIC_cspw9cke	3.43	3.01	2.85	2.65	-1.1.10A1; 1.1.4;
	Modelo Split	COP/ SCOP	EER/ SEER	Pot. Térmica de Aquecimento [kW]	Pot. Térmica de Arrefecimento [kW]	Espaços Afetos
Split_10	KAY35DR8	4.52	3.52	4.1	3.58	Bar; 0.2.10; 0.2.6; 0.2.5; 0.2.1; 0.2.2; 1.1.4;
Split_11	Becken HK 9B II	3.65	3.26	-	-	0.2.4;
Split_12	Não Identificado	3.4*	3*	-	-	2.2.1; 2.2.2; 2.2.3; 2.2.4;

Por se tratar de um sistema descentralizado, os sistemas de climatização na realidade têm perfis de utilização ajustados à preferência e horários dos ocupantes de cada espaço. Apesar disso, foi necessário adotar uma simplificação dos perfis de utilização para estimar o contributo destes sistemas na simulação dinâmica multizona. Tendo por base as informações recolhidas aquando visitas técnicas efetuadas ao espaço foi considerado que o sistema está disponível nos dias úteis entre as 9h e as 18h. De acordo com o previsto pelo RECS⁽¹⁴⁾ e apresentado na considerou-se aceitável a variação da temperatura de conforto interior entre 20°C e 25°C.

Durante o processo de levantamento não foram encontrados equipamentos ventilação mecânica que providenciem a admissão de ar novo. Assim sendo, na maioria dos espaços, a renovação de ar faz-se por ventilação natural através da abertura de janelas controlada pelos ocupantes e, consequentemente, resulta numa variação imprevisível do caudal de ventilação consoante as preferências de cada utilizador e condições exteriores ou interiores. Por este motivo, não foi possível proceder a uma quantificação precisa deste parâmetro durante esta fase.

3.6. Produção de Águas Quentes Sanitárias

A utilização de água quentes sanitárias (AQS) é bastante limitada no edifício em estudo. Apenas existe um esquentador a gás em todo o Teclabs, localizado numa sala de lavagem de material de laboratório e uma máquina de lavar a loiça. A totalidade do gás fornecido é cerca duas garrafas de 45kg por ano, sendo que aproximadamente metade é utilizado em equipamentos de laboratório. Deste modo admitiu-se que a outra metade do gás é direcionada para o esquentador e utilizada para a produção de AQS, sendo que o rendimento considerado para o esquentador foi o mínimo indicado na Tabela I.19 da Portaria n.º 17-A/2016⁽¹⁵⁾ para uma potência inferior a 10kW, tomando o valor de 82%. Para a máquina da loiça admitiu-se 2 lavagens por dia de utilização da sala, perfazendo um total de 506 lavagens por ano e um consumo energético de 1.2kWh/ciclo

[14].

3.7. Sistema de Iluminação

Nesta secção é descrito o sistema de iluminação existente no edifício com base no levantamento realizado. A informação recolhida inclui tipo de luminárias e lâmpadas e potência de iluminação por espaço. A

⁽¹⁴⁾ n.º 3.2, Tabela I.04 do Anexo I da Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de Fevereiro na sua redação atual

⁽¹⁵⁾ n.º 7.2.2, Tabela I.19 do Anexo I da Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de Fevereiro na sua redação atual

Tabela 3.15 mostra a distribuição de lâmpadas e a potência total instalada por tipo de luminária, demonstrando que o tipo de lâmpadas mais abundante no edifício são as do tipo T8.

Tabela 3.15 - Tipos de Lâmpada e potência instalada por tipo de luminária

Tipo de Luminária	Tipo de Lâmpada	Potência Instalada (kW)
A	Fluorescente Compacta	1.9
B	Fluorescente Compacta	3.8
C	Fluorescente Compacta	0.8
D	Tubulares T8	4.5
E	Tubulares T8	7.5
F	Fluorescente Compacta	1
G	Tubulares T8	1.5
H	Tubulares T8	0.1
I	Tubulares T8	0.2
J	Tubulares T8	0.8



Figura 3.5 - Luxímetro Extech HD450.
Adaptado de

Foram ainda realizadas medições de iluminância de modo a verificar se os níveis de luminosidade estavam de acordo com os recomendados pelo RECS⁽¹⁶⁾ e na norma europeia EN 12464-1

[16]. Para os testes de iluminância foi utilizado um luxímetro Extech Modelo HD450 identificado na Figura 3.5 e procurou-se sempre que possível realizar medições no plano de trabalho, colocando o aparelho a cerca de 0.8 m do pavimento e sem iluminação natural.

O valor obtido foi comparado com os valores de referência da norma europeia EN 12464-1

[16] de forma a avaliar a qualidade da iluminação existente. Para além da iluminância, foi ainda utilizado o parâmetro de Densidade de Potência (DPI) para aferir a eficiência da iluminação, que pode ser obtido através da equação (3.2).

$$\frac{DPI}{100lux} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{\left(\frac{P}{A} \right)}{LUX} * 100 \quad (3.2)$$

P - Potência iluminação instalada [W]

⁽¹⁶⁾ n.º 9 do Anexo I da Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de Fevereiro na sua redação atual

A - Área total do pavimento da zona [m²]

LUX - nível de luminosidade medido experimentalmente [lux]

Através deste parâmetro é possível aferir a eficiência da iluminação, quanto menor o valor obtido, mais eficiente é o sistema de iluminação. Este é o indicador estabelecido no RECS⁽¹⁷⁾, para definir a eficiência do sistema de iluminação presente num determinado espaço consoante a sua utilização. Os valores de DPI e iluminância padrão estão presentes na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 - Valores de Iluminância e DPI de referência para as tipologias de sala identificadas no Teclabs. Adaptado da Tabela I.28 da Portaria 17-A/2016

Tipo de Espaço	LUXref	DPIref/100lux	Referência na EN 12464-1
Gabinetes	500	2.4	3.2
Auditório	300	2.4	6.2.1
Laboratório	500	2.4	7.13.1
Corredores	100	3.8	6.2.17
Arrumação	100	3.4	6.2.23
Copa	200	3.4	6.2.25
WC	200	3.8	1.2.4

Esta análise à iluminância e DPI de cada espaço foi classificada nas quatro categorias seguidamente apresentadas:

- Suficiente e Eficiente, onde o sistema cumpre todos os requisitos de iluminância e eficiência;
- Suficiente e Ineficiente, onde apenas a eficiência da iluminação não cumpre os requisitos;
- Insuficiente e Eficiente, onde existe um défice de iluminância relativamente aos valores recomendados, mas apresenta uma iluminação eficiente;
- Insuficiente e Ineficiente, onde nenhum dos requisitos de referência é cumprido.

⁽¹⁷⁾ n.º 9.3, Tabela I.28 do Anexo I da Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de Fevereiro na sua redação atual

Esta classificação está disponível na Tabela do Anexo A.2 para cada zona térmica criada e resultou na distribuição da qualidade de iluminação apresentada no gráfico da Figura 3.6.

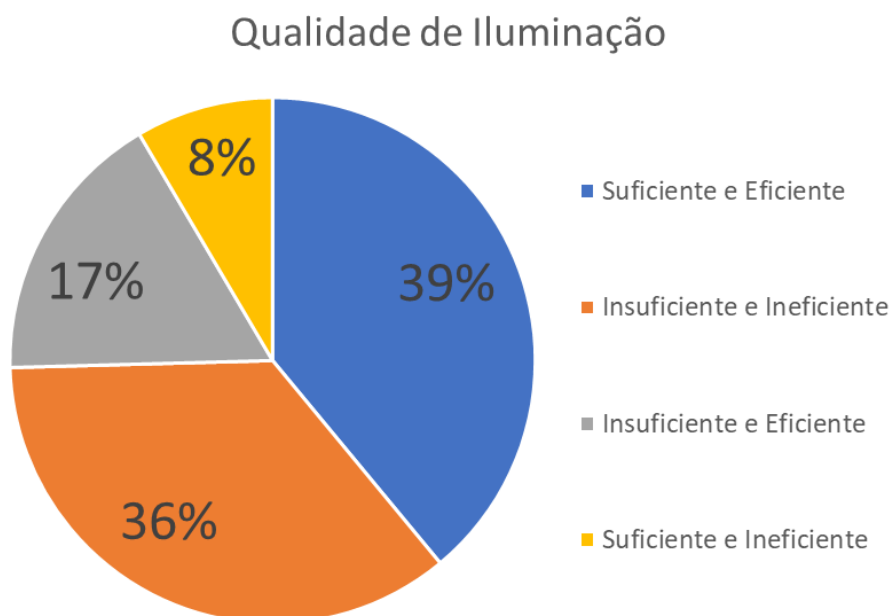


Figura 3.6 Gráfico de Qualidade de Iluminação

4. Metodologia

Neste capítulo apresenta-se a metodologia da simulação e a descrição do modelo do edifício e dos seus sistemas. A Tabela 4.1 contém as condições a respeitar definidas pelo RECS⁽¹⁸⁾ para cada elemento fundamental da simulação e serviu como base para as soluções consideradas para no modelo previsto.

Tabela 4.1 - Condições a respeitar na aplicação do método de simulação dinâmica multizona para a determinação do IEE_{prev} de edifícios no âmbito do RECS. Adaptado da Tabela I.04 da Portaria 17-A/2016

Elemento	Condições a respeitar
Dados Climáticos	- Devem ser utilizados os dados climáticos disponibilizados, para este efeito, pela entidade gestora do SCE
Vão envidraçados	- Quando existam dispositivos de sombreamento móvel, deve ser considerada, a utilização desses dispositivos sempre que a radiação solar incidente na fachada exceda os 300 W/m ²
Zonamento	- Deverá ser efetuado um zonamento do edifício que permita a caracterização de cada uma das zonas térmicas do edifício, tendo em consideração as características de ocupação dos espaços, a orientação dos mesmos, os sistemas técnicos instalados, entre outros; - Cada zona térmica deverá ser simulada de forma autónoma, podendo ser agregados numa mesma zona, espaços com características semelhantes.
Perfis	- Devem ser considerados os perfis horários previstos (no caso de edifícios novos e sujeitos a intervenção) ou reais (no caso de edifícios existentes) para a ocupação, iluminação e utilização de equipamentos, para cada zona térmica do edifício;
Condições interiores	- Deve ser considerada uma temperatura interior compreendida no intervalo de 20°C a 25°C, inclusive.
Caudais de ar novo	- No caso de espaços ventilados exclusivamente com recurso a meios naturais, considera-se o valor do caudal de ar novo correspondente ao valor de caudal mínimo determinado pelo método prescritivo, sem ter em consideração a eficácia de ventilação.
Pontes térmicas	- As pontes térmicas lineares podem ser consideradas mediante majoração global, em 5%, das necessidades de aquecimento do edifício. - As pontes térmicas planas, caso não sejam identificadas e caracterizadas, deverão ser consideradas mediante majoração, em 35%, do valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores do edifício.
Sistema de climatização	- Nos sistemas de climatização, devem ser considerados os caudais de ar novo efetivamente introduzidos nos espaços (tendo em conta a eficácia de ventilação) e as características dos equipamentos previstos ou instalados; - O sistema deverá ser controlado para ligar e desligar em função das cargas térmicas do edifício e deverá ter um horário de funcionamento igual ao período de ocupação do edifício, podendo o horário diário de arranque e paragem do sistema ser diferente do horário de ocupação, desde que tal permita otimizar a eficiência da instalação; - Os horários dos ventiladores de ar novo incluídos no sistema de climatização devem refletir um funcionamento contínuo sempre que os espaços estão ocupados, bem como um funcionamento permanente quando os espaços tenham requisitos de ventilação mínima obrigatória por razões de saúde e/ou segurança; - A eficiência dos equipamentos deverá preferencialmente ser caracterizada com base nas respetivas curvas características ou rendimentos sazonais, se disponível.

⁽¹⁸⁾ n.º 3.2, Tabela I.04 do Anexo I da Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de Fevereiro na sua redação atual

O software de simulação dinâmica multizona utilizado neste estudo foi o EP. O ficheiro climático utilizado foi obtido a partir da folha de cálculo disponibilizada pelo LNEG, que representa os dados climáticos de referência e as correções de altitude de um ano típico do clima do local

[11].

4.1 Descrição do Modelo Geométrico

A partir da análise do projeto de arquitetura, e tendo em conta a utilização e distribuição espacial dos diferentes espaços, foram definidas as zonas térmicas para construção do modelo de simulação. As figuras abaixo representam a perspetiva da fachada sul e poente do modelo utilizado, bem como o sombreamento causado pela vegetação e edificado circundante.

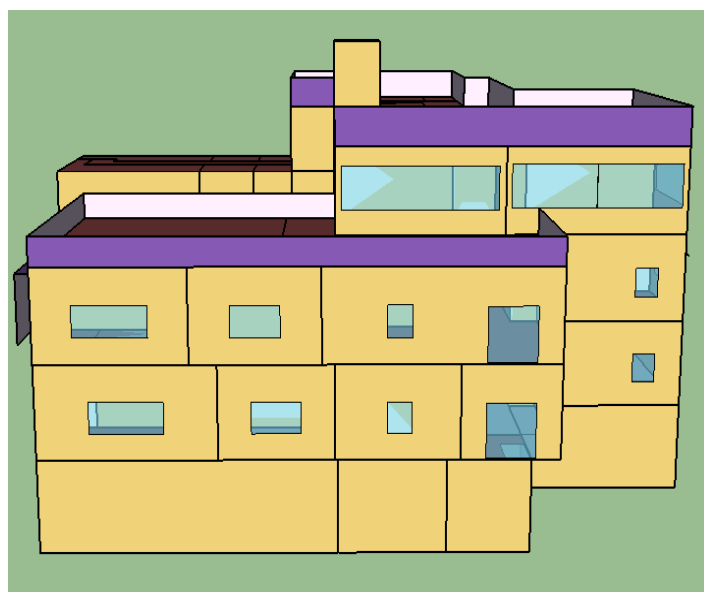


Figura 4.1 - Fachada Sul do modelo geométrico em SketchUp

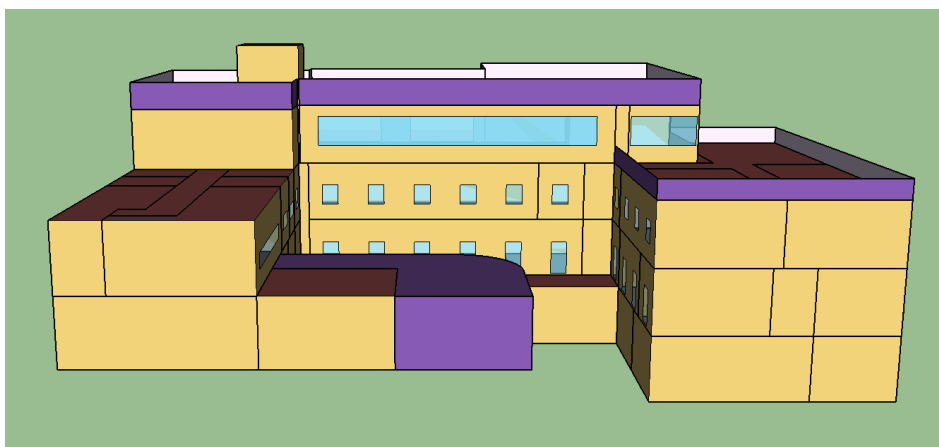


Figura 4.2 - Fachada Poente do modelo geométrico em SketchUp

4.2 Soluções consideradas na simulação para determinação do IEE Previsto

Para determinação do IEE_{pr} o modelo de simulação é caracterizado maioritariamente a partir de informações obtidas durante o processo de auditoria. Podem existir algumas exceções indicadas no regulamento ou até situações em que uma ou mais características dos sistemas técnicos do edifício não estejam especificados em projeto ou não estejam disponíveis. Neste último caso, o cálculo do IEE_{pr} deve ser efetuado tendo em consideração as características e soluções indicadas para a determinação do

modelo de referência (IEE_{ref}). Para os restantes sistemas, foram consideradas as características técnicas próprias de cada sistema, obtidas durante o levantamento ou após consulta de ficha técnica do fabricante.

4.2.1 Modelo Previsto – Soluções de Envolvente

Como referido na Tabela 4.1 para a caracterização da envolvente o regulamento estabelece que, caso não sejam identificadas e caracterizadas, as pontes térmicas planas devem ser consideradas mediante majoração, em 35%, do valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores do edifício. Por este motivo foi necessário considerar uma solução construtiva adaptada para as paredes exteriores em contacto com o exterior, apresentada na Tabela 4.2. As restantes construções utilizadas na elaboração do modelo previsto são as mesmas que foram identificadas no capítulo 3.2 desta dissertação.

Tabela 4.2 - Soluções construtivas utilizadas na simulação do modelo previsto – paredes exterior geral

Descrição Paredes Exterior - Geral	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/mK)	R (m ² K/W)	Massa volumétrica kg/m ³
Rse (fluxo horizontal)	-	-	0.04	-
Reboco exterior	0.02	1.8	0.01	2000
Alvenaria de tijolo furado - majorado	0.15	1.15	0.13	700
Caixa-de-ar	0.08	-	0.18	-
Alvenaria de tijolo furado	0.11	0.41	0.27	700
Reboco interior estucado ou areado	0.02	1.8	0.01	2000
Rsi (fluxo horizontal)	-	-	0.13	-
Resistência total	0.38	-	0.77	-
Coeficiente de transmissão térmica total (W/m²K) U =			1.30	

De acordo com o definido pelo RECS e de modo a caracterizar corretamente as trocas de calor que ocorrem pela envolvente do edifício é também necessário considerar as pontes térmicas lineares. Estas são contabilizadas através da majoração, em 5%, das necessidades de aquecimento do edifício.

Para que o software do EP pudesse estimar de um modo mais aproximado e correto as perdas de calor por soluções da envolvente em contacto com o solo, foi adotado um método alternativo que recorre ao objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*. Este método considera as temperaturas médias mensais do solo para 2 metros de profundidade e uma solução construtiva que inclui uma camada de terra que permita atingir a mesma profundidade [17]. Visto que o piso 0 do edifício em estudo já se encontra enterrado, na presente dissertação foram consideradas as médias mensais para a profundidade de 4 metros. Para que a modelação das trocas de calor efetuadas entre soluções construtivas de pavimento exterior e solo seja corretamente realizada é necessário representar a espessura real da camada de terra que existe entre a construção e o solo a 4 metros de profundidade. Assim, foi definido no programa um material “terra” cuja espessura fosse igual à diferença entre 4 metros e a espessura original da construção, e as suas características térmicas idênticas às da terra. Este material e respetiva espessura foi aplicado a todas os pavimentos em contacto com o solo.

No caso das construções referentes a paredes em contacto com o solo, caso a condição fronteira aplicada fosse realmente o solo, o EP iria utilizar as temperaturas inseridas no objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface* referentes à profundidade de 4 metros. Esta condição iria resultar em trocas de calor por esse tipo de envolvente não representativas da realidade pois as paredes não se encontram efetivamente a essa profundidade. De modo a compensar este erro de modelação foi criado o objecto *SurfaceProperty:OtherSideCoefficients*, cujas temperatura são definidas por um horário anual em que os valores utilizados são de temperaturas mensais do solo à profundidade de 0.5 metros.

Os vãos envidraçados fazem parte da envolvente exterior do edifício e as condições a respeitar para este parâmetro apresentam-se na Tabela 4.1. Foram identificados no Teclabs e apresentados no capítulo 3, três diferentes tipos de dispositivos de sombreamento móvel. De modo a simplificar o processo de simulação foi adotada a abordagem de que estes se encontram ativos sempre que a radiação solar incidente na fachada exceda os 300 W/m².

As Tabela 4.3 e Tabela 4.4 comparam os elementos construtivos da envolvente exterior que têm requisitos térmicos com os valores de referência e máximos estabelecidos pela Portaria 17-A/2016 ⁽¹⁹⁾ permitindo concluir se estes respeitam os valores regulamentados.

Tabela 4.3 - Descrição da Envolvente Exterior

Descrição dos Elementos Identificados	Coeficiente de Transferência de Calor [W/(m ² .°C)]		
	Solução	Referência	Máximo
Paredes			
Parede exterior em alvenaria dupla de tijolo furado 0,15m+0,11 m e espaço de ar de 0,08 m. Rebocado tradicional no exterior e estucado no interior ambos de 0,02 m. Espessura total da parede é de 0,38m.	0.97	0.70	0.70
Coberturas			
Cobertura em laje de betão com membrana de impermeabilização e isolamento exterior	0.65	0.50	0.50

Ambos os elementos descritos na Tabela 4.3 encontram-se acima do valor máximo permitido, no entanto de acordo com o previsto no ponto 6.2 da Portaria 17-A ⁽²⁰⁾, foi feita uma análise ao modelo previsto colocando solução construtivas de inércia térmica semelhante e valor de U de referência. Esta análise permitiu observar que a alteração das construções teria um impacto negativo nos consumos de arrefecimento o que levou à conclusão de que uma futura intervenção nos elementos construtivos não seria benéfica da perspetiva de poupança de energia e por conseguinte da classe energética do edifício.

Tabela 4.4 - Descrição dos vãos envidraçados

Descrição dos Elementos Identificados	Coeficiente de Transmissão Térmica [W/(m ² .°C)]		Fator Solar	
	Solução	Referência	Solução	Máximo
Vãos simples em caixilharia metálica sem corte térmico, constituídos por vidro simples de 6 mm e proteção solar exterior em estores metálicos.	6.50	4.30	0.14	0.56
Vãos simples em caixilharia metálica sem corte térmico, constituídos por vidro simples de 6 mm e proteção solar interior em estores venezianos.	6.50	4.30	0.56	0.56
Vãos simples em caixilharia metálica sem corte térmico, constituídos por vidro simples de 6 mm e proteção solar interior em cortinas opacas	6.50	4.30	0.33	0.56
Vãos duplos em caixilharia metálica sem corte térmico constituídos por vidro simples de 4 mm e caixa de ar de 6mm	4.30	4.30	0.38	0.56

⁽¹⁹⁾ N° 6.2, Tabela I.11 do Anexo I da Portaria 17-A/2016 na sua actual redação

⁽²⁰⁾ N° 6.2, do Anexo I da Portaria 17-A/2016 sua actual redação

Através da análise da Tabela 4.4 é possível observar que apesar de os fatores solares se encontrarem dentro do intervalo regulamentar, o mesmo não acontece para o U da solução. Assim, tal como para os elementos opacos da envolvente exterior, foi necessário verificar através de simulação dinâmica multizona qual o impacto que a alteração dos vãos envidraçados para vidro duplo ($U=4.3\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$) teria nos consumos energéticos do edifício. Através desta análise conclui-se que existiria um aumento dos consumos elétricos de arrefecimento, inviabilizando esta alteração como uma potencial medida de melhoria a implantar.

4.2.2 Modelo Previsto – Ventilação

O Teclabs pode ser considerado um edifício ventilado exclusivamente por meios naturais, visto nenhuma sala possuir dispositivos de ventilação mecânica à exceção de algumas hotes utilizadas com pouca frequência presentes em laboratórios. De modo a replicar o comportamento dos utilizadores, foi utilizado o objeto *ZoneVentilation: WindowStackOpenArea*, que permite estimar o caudal de ar de acordo com a área de abertura de um certo vão envidraçado. Para além da área de abertura disponível em cada zona e respetivos horários de ocupação, foram utilizados como parâmetros para controlar a abertura das janelas a temperatura interior (T_i) entre 25°C e 19°C e a temperatura exterior (T_e) entre 12 e 30°C . Sempre que T_i e T_e se mantiverem nos intervalos definidos a ventilação natural deve ocorrer na totalidade da área de abertura disponível. Quando esta condição não se verifica, para efeitos de simulação, o vão envidraçado considera-se fechado totalmente.

Foi ainda necessário definir um parâmetro adimensional denominado *Opening Effectiveness*, que caracteriza o volume de ar exterior que entra pela área de abertura devido ao vento e à estratificação de ar. O valor adotado para este campo foi de 0.06 [18].

4.2.3 Modelo Previsto – Sistemas de Climatização

Com base no zonamento térmico descrito na secção 4.1 do presente capítulo e conforme a informação disposta na

Tabela 3.14, foi possível estimar o consumo elétrico associado à climatização de cada zona térmica ocupada. Para este efeito foi utilizado o objeto *HVACTemplate: ZoneIdealLoadsAirSystem* associado a cada zona equipada com sistemas de climatização. Este replica um sistema ideal que cumpre todos os requisitos de carga de climatização de cada zona térmica e sem consumo de eletricidade associado. A variação da temperatura de conforto interior considerada aceitável para o funcionamento deste sistema foi entre 20°C e 25°C inclusive, tal como definido pelo RECS.

Para posteriormente estimar o consumo elétrico de cada zona térmica foi necessário calcular um COP médio e EER médio, utilizando as expressões (4.1) a (4.4) e com base nas características dos equipamentos presentes em cada sala. A Tabela 4.5 apresenta os valores de COP e EER médios utilizados para o modelo previsto.

$$EER_{\text{médio zona}} = \frac{\sum_{i=1}^n EER_i}{n} \quad (4.1)$$

$$COP_{\text{médio zona}} = \frac{\sum_{i=1}^n COP_i}{n} \quad (4.2)$$

$$\text{Consumo Electrico aquecimento}_{\text{zona}} = \frac{\text{Carga de climatização}}{COP_{\text{médio zona}}} \quad (4.3)$$

$$\text{Consumo Electrico arrefecimento}_{\text{zona}} = \frac{\text{Carga de climatização}}{EER_{\text{médio zona}}} \quad (4.4)$$

Tabela 4.5 - COP e EER médios considerados para cada zona climatizada e ocupada

Zona	EER	COP
LAB2_PISO0	3.01	3.43
GAB2_PISO1_S	3.52	4.52
GAB3_PISO1_N	4.56	4.57
GAB4_PISO1_N	3.33	3.83
GAB5_PISO1_N	3.24	3.79
GABMID_PISO1	3.48	4.37
LAB2_PISO1_NASC	3.00	3.40
RECEP_PISO1_S	5.10	3.80
AUDI_PISO2_S	5.10	3.80
GAB1_PISO2_S	6.10	5.10
GABMID_PISO2	5.39	4.77
LAB2_PISO2_N	5.10	3.80
LAB2_PISO2_NASC	4.59	4.57
LAB3_PISO2_N	5.10	3.80
LAB3_PISO2_NASC	3.27	3.98
LAB4_PISO2_N	5.10	3.80
GAB1_PISO3_N	6.10	3.80
GAB1_PISO3_S	3.00	3.40
GAB2_PISO3_S	6.50	3.80
GABMID_PISO3	3.00	3.40
BAR	3.52	4.52

De modo a obter uma previsão mais fidedigna dos consumos associados à climatização foi utilizada uma segunda abordagem com valores dinâmicos de COP e EER para cada zona, ou seja, variam a cada iteração da simulação consoante a temperatura exterior [19]. De modo a estimar corretamente estes valores foi primeiramente necessário calcular para cada zona um parâmetro ψ que representa o rácio entre o COP do equipamento e COP ideal de Carnot. As expressões (4.5) a (4.9) representam os cálculos realizados nesta etapa, sendo que devido à grande variedade de equipamentos foi necessário assumir temperaturas nominais de distribuição para o cálculo da eficiência de Carnot [19]. As temperaturas exteriores utilizadas neste cálculo referem-se às temperaturas exteriores nominais de funcionamento presentes nas fichas técnicas dos equipamentos de climatização. Deste modo para o ciclo

de aquecimento foi assumido T_{dist} 50 °C e T_{ext} 7°C, no caso do ciclo de arrefecimento foi considerado T_{dist} 0°C e T_{ext} 35°C.

A Tabela 4.6 apresentam os valores obtidos de ψ para cada zona de acordo com os respetivos COP's ou EER's médios. Em seguida foram utilizadas as equações para calcular o COP e EER dinâmico utilizando as mesmas temperaturas de distribuição, mas a temperatura exterior real a cada iteração, permitindo assim ponderar um rendimento variável dos equipamentos consoante as suas condições de trabalho.

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{dist} + 5 + 273.15}{(T_{dist} + 5) - (T_{ext} - 5)} \quad (4.5)$$

$$EER_{Carnot} = \frac{T_{dist} - 5 + 273.15}{(T_{ext} + 5) - (T_{dist} - 5)} \quad (4.6)$$

$$\psi = \frac{COP_{médio\ real}}{COP_{Carnot}} * 0.9/1.1 \quad \text{OU} \quad \psi = \frac{EER_{médio\ real}}{EER_{Carnot}} * 0.9/1.1 \quad (4.7)$$

$$COP_{din} = \psi * \frac{T_{dist} + 5 + 273.15}{(T_{dist} + 5) - (T_{ext} - 5)} \quad (4.8)$$

$$EER_{din} = \psi * \frac{T_{dist} - 5 + 273.15}{(T_{ext} + 5) - (T_{dist} - 5)} \quad (4.9)$$

Tabela 4.6 - Ψ Aquecimento e Ψ de Arrefecimento considerados para cada zona climatizada e ocupada

Zona	Ψ Aquecimento	Ψ Arrefecimento
LAB2_PISO0	0.453	0.413
GAB2_PISO1_S	0.597	0.483
GAB3_PISO1_N	0.603	0.630
GAB4_PISO1_N	0.506	0.457
GAB5_PISO1_N	0.500	0.444
GABMID_PISO1	0.578	0.477
LAB2_PISO1_NASC	0.449	0.412
RECEP_PISO1_S	0.502	0.700
AUDI_PISO2_S	0.502	0.700
GAB1_PISO2_S	0.674	0.837
GABMID_PISO2	0.630	0.739
LAB2_PISO2_N	0.502	0.700
LAB2_PISO2_NASC	0.604	0.630
LAB3_PISO2_N	0.502	0.700
LAB3_PISO2_NASC	0.525	0.448
LAB4_PISO2_N	0.502	0.700
GAB1_PISO3_N	0.502	0.837
GAB1_PISO3_S	0.449	0.411
GAB2_PISO3_S	0.502	0.892
GABMID_PISO3	0.449	0.411
BAR	0.597	0.483

4.2.4 Modelo Previsto – Águas Quentes Sanitárias

Devido à reduzida utilização de AQS no TecLabs este parâmetro não foi contabilizado diretamente no nosso modelo previsto em EP, no entanto foi necessário estimar os consumos associados a este fator. Para tal efeito considerou-se que toda a energia consumida pela máquina de lavar loiça é utilizada para o aquecimento de água e que metade do gás consumido anualmente é utilizado pelo esquentador para gerar água quente.

No caso da máquina de lavar a loiça a estimativa da energia elétrica anual associada ao equipamento é rapidamente obtida através da multiplicação do consumo de referência por ciclo de lavagens pelo número estimado de lavagens anual, obtendo o valor final de 607kWh/ano.

Para o caso do esquentador foi necessário considerar o Poder Calorífico Inferior (PCI) do gás propano e que nem todo o gás presente na garrafa consegue ser consumido. Assim sendo e através da equação (4.10) foi possível determinar que a energia fornecida pelo gás destinada ao aquecimento de AQS é de cerca de 578 kWh/ano.

$$E_{gás} = PCI * n^o \text{ garrafas} * \text{peso garrafas} * \% \text{utilização da garrafa} \quad (4.10)$$

A soma destes dois consumos perfaz um total de 1185 kWh/ano sendo este o valor considerado durante o cálculo do $IEE_{previsto}$ para as necessidades totais de energia útil para o aquecimento de AQS.

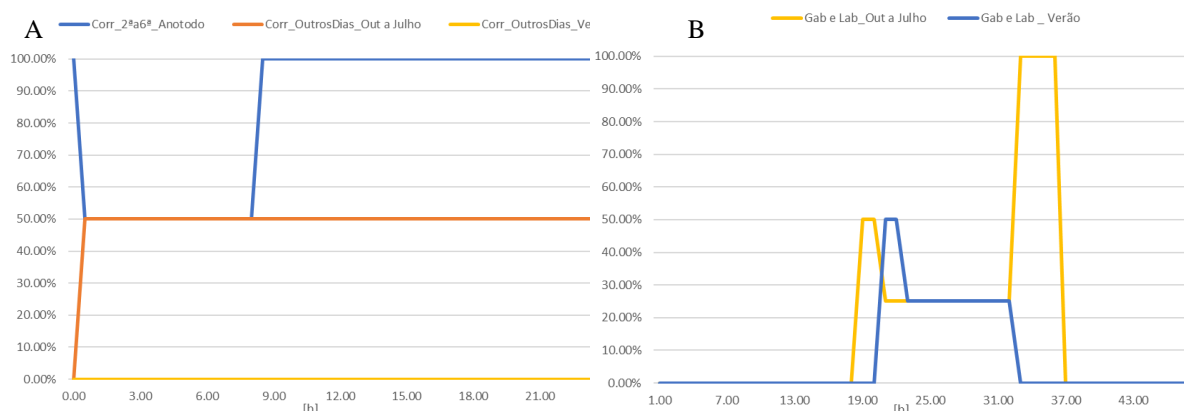
4.2.5 Modelo Previsto – Iluminação

A componente de iluminação do modelo é caracterizada conforme o levantamento descrito no capítulo 3.6 sendo que os horários de utilização foram simplificados com base nestas informações recolhidas e na tipologia das salas.

Para as tipologias de casas de banho e corredores considerou-se que os equipamentos se encontram ativos na sua totalidade durante toda a semana de trabalho e nos outros dias a sua utilização é mais reduzida (Figura 4.3A). Nos meses de Agosto e Setembro foi observado um consumo muito mais reduzido de energia nas faturas e por isso para todos os dias não úteis foi considerado que as luzes se encontravam desligadas.

No caso dos gabinetes e laboratórios adotou-se um horário de utilização dos sistemas de iluminação entre as 9h e as 18h nos dias úteis e completamente desligado nos restantes dias (Figura 4.3B).

Para a tipologia de arrumos foi considerado negligenciável o consumo de energia da iluminação devido à reduzida utilização destes espaços e por isso admitiu-se que esses equipamentos nunca estariam ativos.



Para a previsão deste consumo no modelo de simulação utilizou-se o objeto do EP *Lights*, definindo o parâmetro *Lighting Level* que consiste na potência total de iluminação de uma zona.

Também dentro do mesmo objecto foram atribuídos os horários de utilização referidos no paragrafo anterior. Por último existem dois parâmetros que representam a fração visível e fração radiante da potência instalada, cujos valores dependem fortemente da zona de instalação e tipo de luminária em que a lâmpada se encontra. Assim e com base na informação fornecida pelo *DesingBuilder* [20] procurou caracterizar-se a iluminação de cada zona de acordo com as luminárias predominantes.

É de notar que os perfis de funcionamento do sistema de iluminação são variáveis, e dependem fundamentalmente da tipologia de espaço e dos seus ocupantes. Por este motivo, foram estimados os horários de utilização com base nas informações recolhidas de entre os diferentes utilizadores.

4.2.6 Modelo Previsto – Energias Renováveis

O edifício não dispõe de qualquer sistema de energias renováveis, pelo que este parâmetro não é considerado no cálculo do IEE_{pr} .

4.2.7 Modelo Previsto – Outros Equipamentos

De acordo com o disposto Tabela 1.1 os consumos associados a outros equipamentos que não apresentados nos pontos anteriores desta secção, são considerados do tipo T. Apesar disso estes contribuem largamente para o consumo energético anual e por isso é necessário identificar de um modo geral qual o tipo de equipamentos presentes e quais os seus perfis de utilização de modo a replicar corretamente o consumo anual do Teclabs.

A maioria dos equipamentos são característicos das tipologias predominantes no edifício, tal como computadores, monitores e impressoras para os escritórios e incubadoras, estufas e centrifugadoras para os laboratórios. As potências dos equipamentos de laboratório foram retiradas das placas de características destes sempre que disponível e para os equipamentos de escritórios foram assumidos os valores típicos fornecidos pelo Guia F: Eficiência Energética em Edifícios do *Chartered Institution of Building Services Engineers* (CIBSE) [21].

Os perfis de utilização criados procuraram ter em conta a dimensão e ocupação da zona que caracterizam, isto é, para gabinetes e laboratórios com muitos equipamentos e mais de 6 pessoas, é mais provável que existam equipamentos cuja utilização se estenda para além do horário normal de ocupação. Em ambos os casos não se consideraram consumos para dias não-úteis.

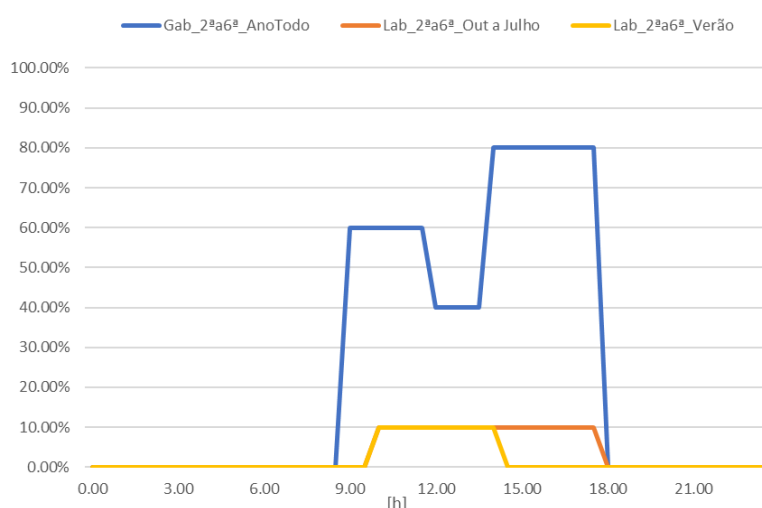


Figura 4.4 - Perfis de Utilização de Equipamentos para escritórios e gabinetes com menos de 6 pessoas de ocupação

Na Figura 4.4 encontram-se dispostos os perfis de utilização para os laboratórios e gabinetes com ocupação menor que 6. Para os restantes gabinetes e laboratórios cuja ocupação é superior a 6, os perfis de ocupação apresentam-se nas e Figura 4.5 e Figura 4.6.

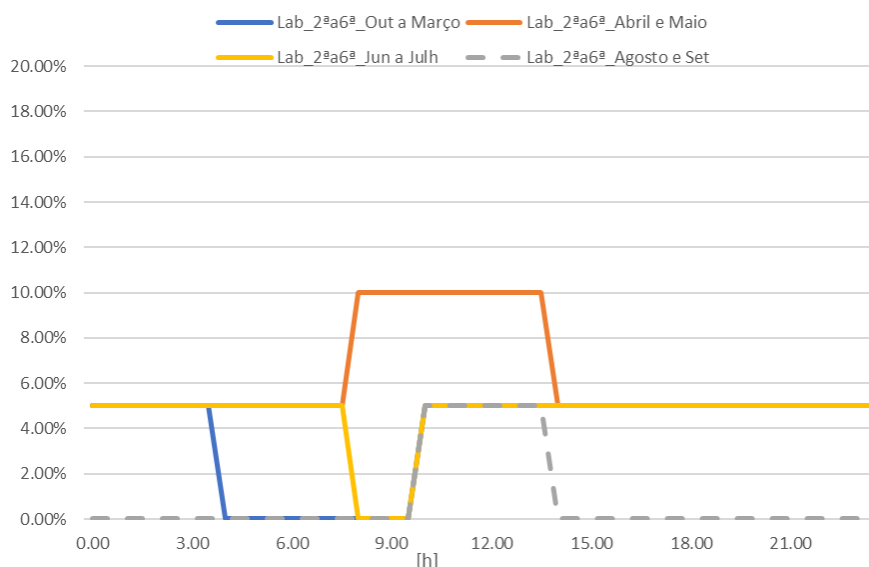


Figura 4.5 - Perfis de utilização de equipamentos para laboratórios de ocupação superior a 6.

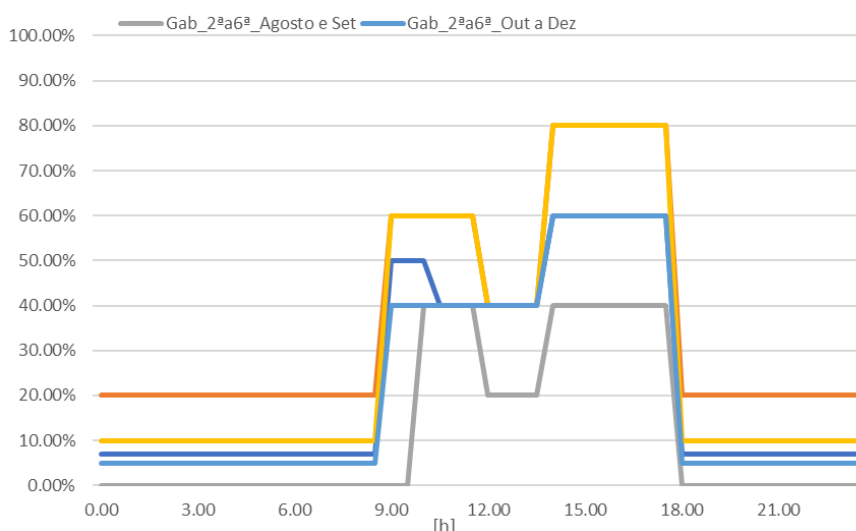


Figura 4.6 - Perfis de utilização de equipamentos para gabinetes de ocupação superior a 6.

Para o elevador presente no edifício assumiu-se que o consumo anual era de cerca de 7000 kWh, o equivalente a um elevador de edifício de serviços com utilização de média frequência e de acordo com as tecnologias mais disponíveis no mercado [22].

Por último foram também identificados um grande número de equipamentos de frio no edifício, desde frigoríficos comuns e arcas congeladoras até ultra-congeladores. Na Tabela 4.7 encontra-se identificado o número de cada um destes equipamentos. Para efeitos de simulação e de modo a replicar o consumo total destes equipamentos considerou-se que os equipamentos de frio seriam os únicos ligados durante as horas de super-vazio no mês de agosto. Com um total de 862 kWh consumidos num intervalo de 4 horas durante um período de 31 dias, resultou que a **potência média consumida por estes equipamentos é de cerca 6950 W**. Estes equipamentos encontram-se sempre ligados e por isso a sua fração de utilização é 1 ao longo de todas as horas do ano.

Tabela 4.7 - Levantamento de Equipamentos de Frio

Equipamento de refrigeração	Nº
Frigorífico/Congelador Standart	65
Arca Congeladora	9
Ultra Congelador	6
Total	80

4.3 Calibração do Modelo de Simulação

Após a obtenção do modelo geométrico, representativo do edifício em análise, com base no levantamento efetuado foram definidas as soluções construtivas, sistemas energéticos e regime típico de utilização dos espaços. De acordo com recomendações do RECS, e de forma a que o cenário “previsto” seja o mais representativo do real funcionamento do edifício, o modelo de simulação a utilizar deverá ser calibrado.

A calibração é efetuada através da comparação dos resultados obtidos por simulação com o último ano (ou de um ano representativo) do consumo real de energia, obtido a partir das faturas de energia do edifício disponibilizadas. Através de pequenos ajustes nos perfis de ocupação e disponibilidade dos equipamentos foi possível obter os resultados apresentados na Figura 4.7. Esta figura apresenta a comparação entre os resultados do consumo de energia mensal dos dois cenários previstos e os consumos reais.

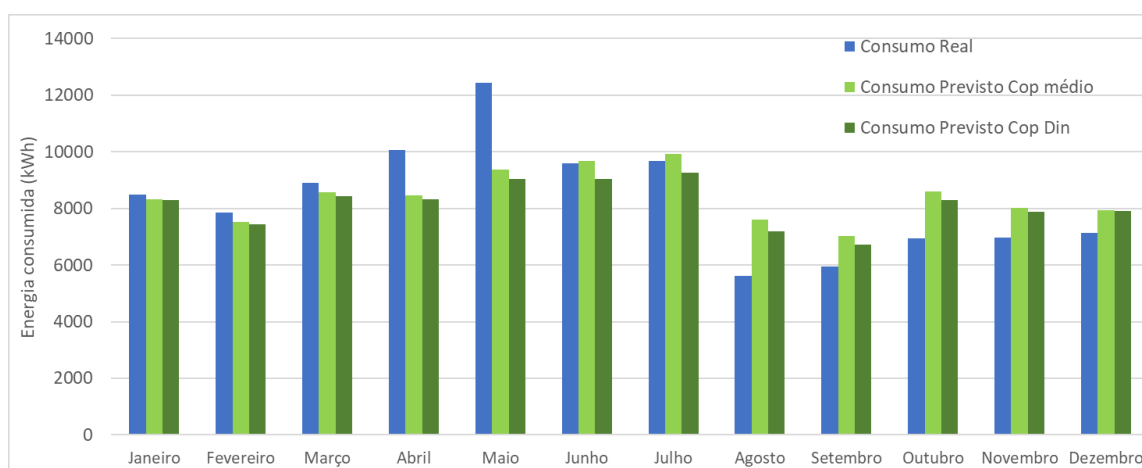


Figura 4.7 - Comparação entre o consumo de energia real e o consumo de energia simulado

A Tabela 4.8 sumariza os resultados obtidos, e permite concluir que ambos os modelos demonstram capacidade para simular o real funcionamento do edifício em análise. O modelo que utiliza o COP dinâmico no cálculo das necessidades de AVAC apresenta as menores margens de erro, com um erro médio mensal de -1% e um erro anual de -5%. Por este motivo a análise dinâmica servirá de base para calcular a classe energética assim como os efeitos das medidas de melhoria explorados no capítulo 6 desta dissertação.

Tabela 4.8 - Comparação dos resultados obtidos entre o consumo real e os consumos previstos.

Modelo	Total Anual [kWh]	Erro anual [%]	Erro médio mensal [%]	Erro quadrático médio mensal [%]	Custos Totais Anuais (S/IVA) [€]	Erro Anual Custos [%]
Real	106673	-	-	-	13210	-
Previsto Cop Médio	108062	- 8	13	17	13697	-4
Previsto Cop Dinâmico	104855	-5	-1	15	13266	-0.4

4.4 Soluções consideradas na simulação para determinação do IEE Referência

Na caracterização da situação de referência o objetivo é a criação de um modelo que replique corretamente um edifício de serviços com uma utilização semelhante ao Teclabs, mas que possua as características definidas por lei como as de referência. A Tabela 4.9 serviu de base para as considerações feitas ao longo deste capítulo.

Tabela 4.9 - Condições a respeitar na aplicação do método de simulação dinâmica multizona para a determinação do IEEref de edifícios no âmbito do RECS. Adaptado de [5]

Tipo de elemento/solução	Soluções de referência a considerar
Envolvente	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos, obtidos mediante alteração da espessura do isolamento previsto na solução construtiva, sendo que, no caso de não estar previsto isolamento, a solução de referência deverá considerar a aplicação desse isolamento ou uma outra solução construtiva, desde que em ambos os casos se mantenha a inércia do edifício; - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência para envidraçado - Área de vão envidraçado igual a 30% da área de fachada e 0% nas coberturas; - Fator solar dos vãos envidraçados de referência;
Aquecimento e/ou arrefecimento ambiente	<ul style="list-style-type: none"> - Nas situações em que exista ou esteja prevista a instalação de sistema(s) para aquecimento e para arrefecimento ambiente: <ul style="list-style-type: none"> a. No caso de produção de aquecimento e/ou arrefecimento com recurso a bomba de calor, considerar bomba de calor do tipo chiller de compressão com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido no RECS⁽²¹⁾ para o efeito (outros sistemas); d. Nas situações em que se preveja ou disponha de um sistema solar térmico, considerar que as necessidades de energia afetas a esse sistema são supridas pelo equipamento de apoio do mesmo ou, na ausência deste último, conforme previsto no ponto seguinte. - Caso não exista ou não esteja previsto instalar uma ou ambas as funções (aquecimento e arrefecimento), considerar que o edifício dispõe de sistema para essa(s) função(ões), aplicando-se o disposto na alínea a) anterior para a função não existente ou não prevista; - Ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na climatização.

⁽²¹⁾ N° 7.2, Tabela I.17 do Anexo I da Portaria 17-A/2016 na sua actual redação

Tipo de elemento/solução	Soluções de referência a considerar
Ventilação	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar os valores de caudal de ar novo por espaço determinados pelo método prescritivo e utilização de um sistema de ventilação exclusivamente mecânico, com uma eficácia de ventilação de 0,8; - Caso esteja instalados ou prevista a instalação de ventiladores de extração e de insuflação associados à ventilação das áreas climatizadas ou a unidades de tratamento de ar (UTA e UTAN), considerar valores de eficiência (potência específica, SFP) iguais ao limite inferior (mais eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido no RECS⁽²²⁾ para o efeito;
Água quente sanitária e de piscinas	<ul style="list-style-type: none"> - No caso de sistemas com recurso a equipamentos de queima de combustível, o valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável para caldeira(s) e definido no RECS⁽²³⁾ para o efeito (outros sistemas); - Ausência de sistemas de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na AQS.
Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> - Densidade de potência de iluminação correspondente ao requisito mínimo aplicável, sem sistemas de controlo por ocupação ou por disponibilidade de luz natural e definido no RECS⁽²⁴⁾ para o efeito; - Ausência de sistemas de controlo da iluminação em função da ocupação, da luz natural ou outras soluções de eficiência energética na iluminação.
Energias Renováveis	<ul style="list-style-type: none"> - Inexistência de qualquer sistema de energias renováveis instalado.

4.4.1 Modelo Referência– Soluções de Envolvente

A *Tabela 4.10* apresenta os valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica U para a envolvente opaca exterior de acordo com a zona climática de Inverno onde se enquadra o TecLabs, nomeadamente I1.

Tabela 4.10 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência para edifícios de comércio e serviços. Adaptado da Portaria N°17-A/2016⁽²⁵⁾.

Zona corrente da envolvente	$U_{ref} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$
Elementos opacos verticais exteriores	0.7
Elementos opacos horizontais exteriores	0.5
Vãos envidraçados exteriores	4.3

As soluções construtivas utilizadas no modelo de referência foram iguais às do modelo previsto, com exceção das paredes exteriores e coberturas exteriores. Nestas construções foi aumentada a espessura da camada de isolamento de modo a cumprir os requisitos térmicos apresentados na tabela acima.

No caso das paredes exteriores e por não existir isolamento prévio, foi adicionado 2 cm de isolamento em XPS em detrimento da camada de ar resultando num U de $0.64 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. Para as coberturas a alteração consistiu apenas no aumento da espessura de isolamento XPS de 4cm para 6cm, criando uma solução construtiva com um U de $0.48 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. As *Tabela 4.11* e *Tabela 4.12* sumarizam a constituição destas novas construções utilizadas no modelo de referência.

⁽²²⁾ N° 7.3, Tabela I.21 do Anexo I da Portaria 17-A/2016 na sua actual redação

⁽²³⁾ N° 7.2, Tabela I.19 do Anexo I da Portaria 17-A/2016 na sua actual redação

⁽²⁴⁾ N° 9.3, Tabela I.28 do Anexo I da Portaria 17-A/2016 na sua actual redação

⁽²⁵⁾ N° 9.3, Tabela I.28 do Anexo I da Portaria 17-A/2016 na sua actual redação

Paredes Exteriores Referência - geral

Tabela 4.11 - Caracterização da solução construtiva definida para as Paredes Exteriores do modelo de referência

Descrição	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/mK)	R (m ² K/W)	Massa volúmica kg/m ³	Calor específico J/kg.K
Reboco exterior	0.02	1.8	0.01	2000	840
Alvenaria de tijolo furado	0.15	0.38	0.39	700	800
XPS	0.02	0.037	0.54	33	1550
Caixa-de-ar	0.08	1.67	0.18	1.2	1003
Alvenaria de tijolo furado	0.11	0.41	0.27	700	800
Reboco interior estucado	0.02	1.8	0.01	2000	840
coeficiente de transmissão térmica total U [W/(m².K)] =			0.63		

Cobertura Exterior Referência

Tabela 4.12 - Caracterização da solução construtiva definida para a Cobertura Exterior do modelo de referência

Descrição	Espessura (m)	Condutibilidade térmica (W/mK)	R (m ² K/W)	Massa volúmica kg/m ³	Calor específico J/kg.K
Betonilha esquartelada	0.05	1.8	0.03	1000	840
Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)	0.06	0.037	1.62	33	1550
Camada de forma	0.05	1.8	0.03	1000	840
Camada de forma	0.05	1.8	0.03	1000	840
Laje de betão	0.35	1.65	0.21	2000	840
coeficiente de transmissão térmica total U [W/(m².K)] =			0.48		

4.4.2 Modelo Referência – Ventilação

Para o modelo de referência, a ventilação das zonas climatizadas deve ser no mínimo o determinado de acordo com o método prescritivo definido pela Portaria nº353-A/2013⁽²⁶⁾. A aplicação deste método envolve para cada tipo de espaço ocupado o cálculo do caudal de ar novo considerando a diluição da carga poluente devida à ocupação (penúltima coluna) e devido à carga poluente do espaço (última coluna). A Tabela 4.13 apresenta os valores de referência obtidos para cada tipologia e que foram aplicados a todas as zonas térmicas ocupadas do modelo previsto. Para cada zona optei por utilizar sempre o método que resultava num maior caudal de ar novo.

⁽²⁶⁾ Nº2 do Anexo da Portaria nº35-A/2013 na sua atual redação

Tabela 4.13 - Requisitos de ventilação e qualidade do ar interior. Adaptado da Portaria nº353-A/2013⁽²⁷⁾(28)

Tipo de espaço	Tipo de Actividade	Taxa de metabolismo dos ocupantes - M (met)	Caudal de ar novo [m³/(hora.pessoa)]	Caudal de ar novo [m³/(hora.m²)]
Auditório	Descanso	1	20	3
Gabinete	Sedentária	1.2	24	3
Copa	Sedentária	1.2	24	3
Laboratório	Moderada	1.75	35	5

De modo a garantir a ventilação através de um sistema mecânico os caudais determinados pelo método prescritivo foram divididos pela eficiência total do sistema de 0.8, definida pela Portaria nº17-A/2016 e apresentada na Tabela 4.9. Para que as implicações na carga de climatização do edifício deste modelo de ventilação fossem correctamente simuladas, os resultados obtidos foram aplicados no objeto *ZoneVentilation: DesignFlowRate* do EP, em que o caudal é inserido em m³/s.

Os caudais finais obtidos foram multiplicados pelo limite mais eficiente de potência específica de ventiladores disposto na Tabela I.21 da Portaria nº17-A/2016, o qual equivale a 1250W/(m³/s).

Por fim os consumos obtidos foram duplicados de modo estimar o mais aproximadamente possível o consumo de um sistema mecânico de ventilação com insuflação e extração de ar das zonas climatizadas. O valor estimado para o consumo anual do sistema de ventilação do modelo de referência foi de 10 400 kWh.

4.4.3 Modelo Referência – Sistemas de Climatização

Para o modelo de referência assumi a existência de sistemas de climatização do tipo *split* em todas as zonas que na situação prevista se encontram climatizadas. Os consumos associados aos sistemas de climatização foram calculados, novamente utilizando o método do COP dinâmico explicado na secção 4.3.2 do presente capítulo. O COP e o EER de referência utilizados no cálculo dinâmico, foram os limites menos eficientes definidos para a classe mínima de eficiência. Assim sendo para a classe B os valores assumidos são 3.4 (COP) e 3.0 (EER).

Os resultados para o consumo anual total do sistema de climatização no modelo de referência são 10200 kWh, estando cerca de 8380 kWh associados ao arrefecimento e 1820 kWh ao aquecimento.

4.4.4 Modelo Referência – Águas Quentes Sanitárias

As considerações feitas sobre este parâmetro para o modelo previsto foram baseadas na situação de referência devido à impossibilidade de avaliar de modo preciso qual o consumo de água quente do edifício. Assim, associado ao modelo de referência temos um consumo de água quente igual ao do modelo previsto, perfazendo um total de 1185 kWh/ano de consumo de energia útil para o aquecimento de AQS.

4.4.5 Modelo Referência – Iluminação

Segundo a Tabela 4.9, no modelo de referência é necessário considerar que os equipamentos de iluminação instalados estão de acordo com o DPI de referência definido para cada tipo de espaço. Utilizando a equação (3.2) foi determinada uma potência de iluminação instalada em W totais para cada zona ocupada. Através do objecto *Lights* no EP foram inseridas estas potências que associadas aos

⁽²⁷⁾ Tabela I.04 do nº 2.2 do Anexo da Portaria nº353-A/2013 na sua actual redacção

⁽²⁸⁾ Tabela I.05 do nº 2.2 do Anexo da Portaria nº353-A/2013 na sua actual redacção

horários de utilização de cada zona permitiram estimar o consumo anual de referência deste indicador. O valor final obtido foi de 36398 kWh/ano.

4.4.6 Modelo Referência – Energias Renováveis

Devido à inexistência de equipamentos renováveis no edifício original, para o modelo de referência também não foi considerada a existência de nenhum equipamento deste género.

5. Resultados

5.1. Consumos

Para uma melhor compreensão de quais as tipologias responsáveis pelos maiores consumos é necessário realizar a desagregação do consumo por tipologia. A Tabela 5.1 expõe os principais tipos de consumo associados a cada tipologia, em valor absoluto e em percentagem. Não foi criado o parâmetro específico para a utilização de água quente ou gás, pois não só o seu consumo é insignificante relativamente ao consumo total do edifício como também a sua utilização se restringe unicamente a espaços do tipo laboratório. É fundamental salientar que dentro da categoria “outras tipologias” insere-se o bar, a copa, as instalações sanitárias, os corredores e todas as outras zonas consideradas como arrumos ou complementares. Associado a estas zonas térmicas estão os equipamentos de frio, sendo esse o principal motivo para o elevado valor absoluto de consumo anual para estas tipologias.

Através de uma análise dos resultados apresentados na Tabela 5.1 podemos então concluir que com exceção dos equipamentos de frio, os dois maiores consumidores são os equipamentos utilizados nos gabinetes e laboratório e os sistemas de iluminação de todas as tipologias. Os consumos destes equipamentos não são contabilizados para o cálculo da classe energética, mas podem também ser alvo de medidas de melhorias que visem apenas a poupança energética. Neste género de consumos a grande diversidade de aparelhos instalada torna a sua substituição por outros mais eficientes uma tarefa bastante complexa e morosa. Somado a este facto, a sua elevada dependência de utilização humana impossibilita a regulação dos seus consumos através de horários de utilização. Estes dois fatores impossibilitam uma intervenção global neste tipo de utilização.

Tabela 5.1 - Desagregação dos consumos finais por tipo de utilização e Tipologia

Principais Tipologias	Consumo anual [kWh]	Distribuição de Consumos por Utilização							
		Aquecimento		Arrefecimento		Iluminação		Outros	
		[kWh]	%	[kWh]	%	[kWh]	%	[kWh]	%
Laboratório	16 931	389	2.3	1219	7.2	7446	44	7877	46.5
Gabinetes	20 394	285	1.4	2631	12.9	6037	29.6	11441	56.1
Outras Tipologias	60 490	60	0.1	242	0.4	9557	15.8	50630	83.7

Foi também realizada uma análise aos consumos por utilização final, apresentada na

Figura 3.4. Este gráfico demonstra mais uma vez o grande impacto (72%) que os equipamentos do tipo T têm nos consumos do edifício. Em relação aos sistemas de iluminação o seu consumo representa uma parcela **significativa** para todas as tipologias apresentadas e cerca de 25% do consumo total do edifício. Estes sistemas estão intrinsecamente relacionados com a ocupação, sendo que a

substituição das lâmpadas por outras do tipo LED e mais eficientes é um processo simples cujo impacto será diretamente proporcional à utilização das lâmpadas. Como se trata de um consumo com influência direta na classe energética e devido à sua simplicidade de implementação, podemos então concluir que esta será uma medida de melhoria a considerar no capítulo 6.

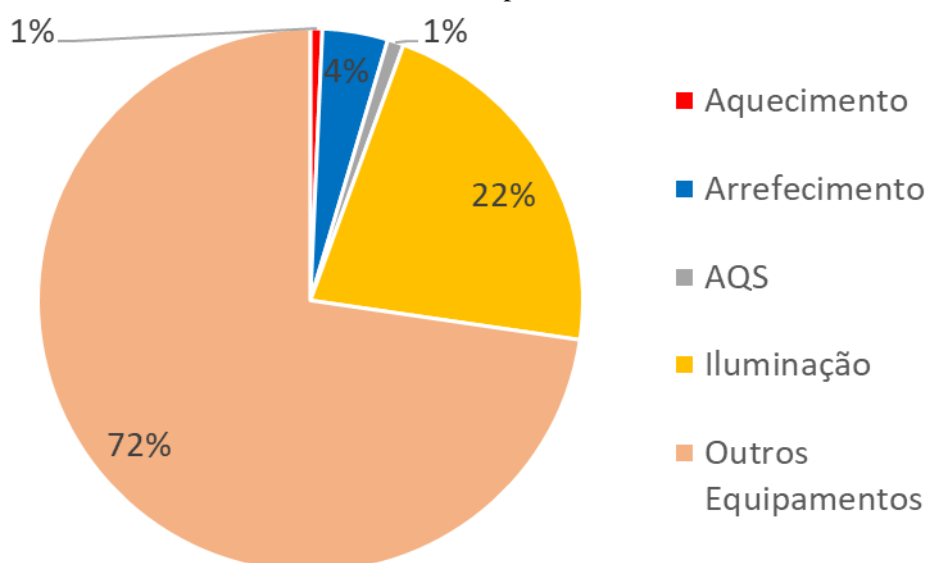


Figura 5.1 - Desagregação dos consumos por utilização final

5.2 Classificação Obtida

Na tabela abaixo observa-se um resumo dos principais indicadores para o modelo previsto e para o modelo de referência. Através destes indicadores e da equação (1.1) calculou-se o R_{IEE} , cujo valor foi de 0.55. Este resultado permite concluir que o mesmo se classifica segundo uma Classe de Eficiência Energética de nível B, estando por isso isento de obrigatoriedade de aplicação de um Plano de Racionalização de Energia (PRE). A componente renovável (IEE_{ren}) do IEE previsto é atribuída na sua totalidade à componente renovável existente na utilização de splits e foi determinada de acordo com a expressão (5.1) presente no Despacho nº15739-H/2013⁽²⁹⁾ referente a bombas de calor aerotérmicas.

$$E_{ren} = Q_{útil} \times \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad (5.1)$$

$Q_{útil}$ - Calor total utilizável estimado produzido por uma bomba de calor [kWh]

SPF - Fator médio de desempenho sazonal estimado para a referida bomba de calor

Tabela 5.2 - Resumo dos Principais Indicadores

Sigla	Descrição	Previsto	Referência
IEE	Indicador de Eficiência Energética [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	84.52	107.97
IEE_s	Indicador de Eficiência Energética de consumos do tipo S [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	36.18	52.14
IEE_t	Indicador de Eficiência Energética de consumos do tipo T [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	55.83	55.83
IEE_{ren}	Indicador de Eficiência Energética Renovável kWh _{EP} /(m ² .ano)]	7.50	0
E_{ren, ext}	Energia exportada, produzida a partir de fontes renováveis [kWh/ano]	0	0

⁽²⁹⁾ Nº 7.1 do Despacho nº15793-H/2013 na sua atual redação

6. Medidas de Melhoria

Este capítulo é dedicado à apresentação das medidas que visam a redução do consumo de energia por via de um aumento da eficiência nominal dos equipamentos consumidores de energia e/ou através do aproveitamento de recursos renováveis, incluindo sistemas de produção de energia elétrica.

As medidas de melhoria do desempenho energético apresentadas são avaliadas de acordo com os seguintes critérios:

- O investimento inicial na nova solução;
- O impacto na classe energética promovido pela medida;
- A redução anual nas faturas energéticas por via da implementação da medida;
- O período de retorno (ou Período de Retorno Simples) do investimento adicional na medida.

6.1 Iluminação

Atendendo ao modelo previsto a iluminação representa cerca de 22% de toda a **energia final** consumida no edifício. De acordo com o observado durante o levantamento 45% do total de lâmpadas instaladas eram do tipo fluorescente compactas e 55% do tipo T8. Tendo em conta o referido na

Tabela 3.15 no capítulo 3.6 sobre os sistemas de iluminação, a tipologia de lâmpadas tubular T8 representa cerca 65 % de toda a potência de iluminação instalada. Acrescendo a este facto as tipologias de espaço com maior impacto no consumo elétrico são os gabinetes e laboratórios, cuja iluminação predominante observada durante o processo de auditoria é do tipo tubular T8.

Ponderando estes fatores e a tipologia das zonas presentes no edifício, a medida de melhoria analisada em seguida prende-se com a substituição das lâmpadas do tipo tubular T8 em todos os gabinetes, laboratórios e corredores. A Tabela 6.1 identifica o número de cada modelo de lâmpada adquirido, o seu custo de aquisição, qual a potência do equipamento que substitui e a potência do novo equipamento de modo a compreender a dimensão da intervenção. A informação recolhida foi com base na informação disponível na loja online EfectoLed e as respetivas fichas técnicas dos equipamentos escolhidos encontram-se no ANEXO A.3.

Tabela 6.1 - Quantificação dos equipamentos a adquirir para melhoria do sistema de iluminação

Modelo	Potência a substituir [W]	Potência Led [W]	Custo de aquisição	Nº Lâmpadas	Custo Total [€]
T8 900mm	36	14	35.53 /10und	350	1 244
T8 600mm	18	9	30.45 /10und	160	487.2

Foi assumido que os serviços técnicos da FCUL seriam responsáveis pela instalação das novas lâmpadas e por isso não foram contabilizados custos de instalação. A Tabela 6.2 resume a análise financeira e energética desta medida de melhoria, assim como o seu impacto na classificação energética do edifício. O período de retorno foi estimado com base nas tarifas elétricas aplicadas em 2018 e 2019 (Tabela 3.2), para melhor compreender a influência que esta alteração por parte da companhia tem na poupança associada.

Tabela 6.2 - Otimização do sistema de iluminação: Análise energética e financeira

	Tarifa 2018	Tarifa 2019
Redução no consumo energético [kWh/ano]	3349	3349
Investimento [€]	1732	1732
Poupança S/IVA [€/ano]	534	748
Poupança C/IVA [€/ano]	657	920
Período de Retorno [anos]	2.6	1.88
Nova Classe Energética	A	A

6.2 Sistema Fotovoltaico

Tendo em conta a existência de uma grande área de cobertura disponível foi também analisada a possibilidade de instalar um sistema de painéis fotovoltaicos para autoconsumo com exportação do excedente de energia. De acordo com o Decreto-Lei nº 162/2019⁽³⁰⁾ unidade de produção para autoconsumo (UPAC) consiste numa ou várias unidades de produção que têm como fonte primária a energia renovável, destinada maioritariamente à satisfação das necessidades de abastecimento de energia elétrica de um determinado autoconsumidor. Também no Decreto-Lei nº162/2019⁽³¹⁾ está definido que uma UPAC com potência instalada superior a 350 W e inferior a 30kW está sujeito a mera comunicação prévia, não sendo necessário um registo prévio da instalação ou certificado de exploração.

Na avaliação da medida de melhoria considerou-se dois cenários diferentes, em que a potência instalada seria 10 ou 20 kWp. Para a avaliação de ambos os casos considerou-se a instalação de 1 ou 2 kit's de autoconsumo de 10kWp. Cada kit contém, 30 Módulos fotovoltaicos Hanover Solar 300W Mono, 1 Inversor Fronius SYMO 10.0-3-M e contador Itron e 1 Módulo de Telecontagem GSM. As características técnicas mais relevantes dos módulos e do inversor encontram-se presentes nas tabelas Tabela 6.3 e Tabela 6.4.

Tabela 6.3 - Principais características dos painéis fotovoltaicos

Modelo	HS300M-30D
Pmax [W]	300 W
Vmpp [V]	32.54 V
Imp [A]	9.22 A
Voc [V]	40.11 V
Isc [A]	9.61 A
Dimensões Painel (C x L x A) [mm]	1650 x 992 x 35
Tipo de Célula Solar	MonoCristalina
Dimensões da Célula (C x L) [mm]	156 x 156
Número de Células	60

Tabela 6.4 - Principais características do inversor

Modelo	Fronius Symo 10.0-3-M
Dimensões (A x L x C) [mm]	725 x 510 x 225
Eficiência Europeia	0.974
Consumo Noturno [W]	< 1
Tipo de instalação	Interior ou Exterior
Temperaturas Ambiente de Operação [°C]	- 40 a 60
Humidade Permitida	0 – 100 %

⁽³⁰⁾ nº cc do Artigo 2º do Decreto-Lei nº 162/2019 de 25 de outubro na sua atual redação

⁽³¹⁾ nº2 do Artigo 3º do Decreto-Lei nº 162/2019 de 25 de outubro na sua atual redação

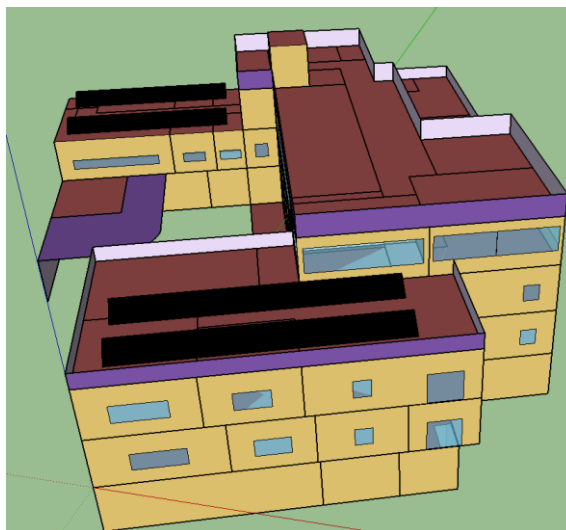


Figura 6.1 - Modelo SketchUp para cenário PV com 20kWp de potência

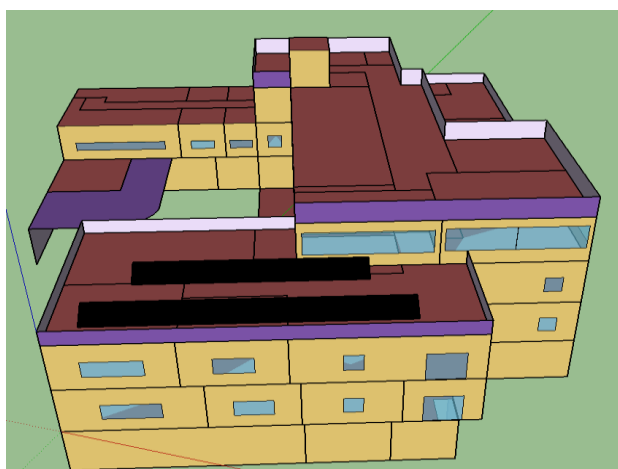


Figura 6.2 - Modelo SketchUp para cenário PV com 10kWp de potência

O *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS) é uma ferramenta desenvolvida pela Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia. O seu objetivo é disponibilizar um software gratuito e de acesso geral que permita uma boa avaliação do potencial dos recursos solares de uma determinada região. Utilizando as funcionalidades deste *software* foi possível determinar qual o ângulo ótimo de instalação dos painéis para maximizar a produção de energia elétrica, sendo que para a zona do Campo Grande este valor é de 33° graus.

Apesar de o PVGIS também permitir estimar o total de energia elétrica produzida por uma determinada instalação, considerou-se mais correto integrar os painéis no modelo geométrico do SketchUp no seu local previsto. Deste modo quando o modelo é exportado para o EP é possível contabilizar o sombreamento do edificado circundante e do próprio edifício nos painéis, produzindo assim resultados mais representativos da realidade. Nas Figura 6.1 e Figura 6.2 estão representados os modelos para cada um dos cenários estudados com os respetivos painéis identificados através da sua cor preta. A Tabela 6.5 apresenta o total de energia produzida, utilizada e excedente para cada cenário avaliado, sendo que apenas a energia consumida é considerada no cálculo do IEE_{ren} .

Tabela 6.5 - Quantificação da energia produzida pela UPAC e utilizada pelo Teclabs em cada cenário

	Cenário 10 kWp	Cenário 20 kWp
Energia produzida [kWh/ano]	14547	28231
Energia consumida [kWh/ano]	14265	25248
Energia excedente [kWh/ano]	282	2983

A Tabela 6.6 expõe os resultados da análise financeira e energética para cada um dos cenários considerados. Os custos de aquisição, instalação e manutenção dos kit's foram baseados na oferta da empresa Livre Power, LDA [23].

A redução no consumo energético anual foi estimada com base no modelo previsto e na energia produzida pela UPAC e consumida diretamente pelo edifício. O excedente de energia não foi contabilizado para a análise financeira, apesar de segundo o Decreto-Lei nº192/2019⁽³²⁾ estar nos direitos do autoconsumidor transacionar a produção excedentária de eletricidade. O período de retorno foi estimado com base nas tarifas elétricas aplicadas em 2018 e 2019, de modo a demonstrar o efeito que esta alteração por parte da companhia fornecedora tem na poupança associada a cada cenário.

Tabela 6.6 - Avaliação energética e financeira da implementação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo

	Tarifas 2018		Tarifas 2019	
	PV10	PV20	PV10	PV20
Redução no consumo energético [kWh/ano]	14265	25248	14265	25248
Investimento [€]	12320	22427	12320	22427
Poupança S/IVA [€/ano]	1794	5285	2151	5565
Poupança C/IVA [€/ano]	2207	6500	2645	6845
Período de Retorno [anos]	5.58	3.45	4.65	3.28
Nova Classe Energética	A	A+	A	A+

6.3 Cenários Cruzados

Por último foram cruzados os diferentes cenários propostos, procurando compreender qual o conjunto de melhorias de menor investimento inicial cujo impacto na classificação e fatura energética é maior. A Tabela 6.7 clarifica os resultados obtidos para cada um dos cenários bem como os seus períodos de retorno correspondentes calculados com base nas tarifas de 2019.

Tabela 6.7 - Resultados obtidos para diferentes cenários de medidas de melhoria

Cenário	Previsto	Luzes	PV10	PV20	Luzes+PV10	Luzes+PV20
IEE_{ref,s} [kWh_{EP}/(m².ano)]	52.14					
IEE_{prev,s} [kWh_{EP}/(m².ano)]	36.17	33.53	36.19	36.07	33.41	33.30
IEE_{prev, ren} [kWh_{EP}/(m².ano)]	7.50	7.53	18.90	27.55	18.81	26.80
IEE [kWh_{EP}/(m².ano)]	84.52	81.84	73.13	64.36	70.44	62.34
R_{IEE}	0.55	0.50	0.33	0.16	0.28	0.12
Classificação Energética	B	A	A	A+	A	A+
Investimento [€]	0	1732	12320	22427	14052	24159
Período de Retorno [anos]	0	1.88	4.65	3.28	4.24	4.82

⁽³²⁾ nº2 do Artigo 7º do Decreto-Lei n.º 162/2019 de 25 de outubro na sua atual redação

Através da análise da tabela anterior podemos concluir que o cenário com o menor período de retorno é o Luzes. Dos cenários com medidas cruzadas o que tem menor período de retorno é o Luzes+PV10, cujo tempo é ligeiramente inferior ao do cenário PV10. Isto acontece porque a poupança associada ao sistema de iluminação é somada à poupança associada ao sistema fotovoltaico.

Quanto ao cenário Luzes+PV20 o seu período de retorno é o maior de todos, sendo bastante superior quando comparado com o cenário PV20. Esta diferença pode ser explicada através da melhoria do sistema de iluminação. A redução no consumo energético devido à substituição dos equipamentos de iluminação causa uma diminuição na energia consumida diretamente da UPAC, reduzindo a poupança associada a este cenário. Apesar de a produção excedente poder ser vendida, o preço de venda será inferior ao da tarifa elétrica aplicada, o que quando considerado na análise financeira irá sempre causar um aumento no período de retorno quando comparada com o cenário PV20.

7. Conclusão

Este capítulo final tem como propósito explicitar as principais conclusões obtidas a partir dos resultados apresentados nos capítulos anteriores e apontar possíveis considerações a realizar numa próxima análise ao desempenho energético do edifício do Teclabs.

Neste caso de estudo a desagregação de consumos revelou que os maiores consumos acontecem nos equipamentos do tipo T (72%) e na iluminação (22%). No que diz respeito ao cálculo da classe energética e ao processo de certificação, os consumos dos equipamentos do tipo T não são considerados. No entanto é de salientar que estes representam uma parte do consumo superior à soma de todas as outras utilizações. Da totalidade do consumo dos equipamentos do tipo T uma grande parte é devido ao elevado número de equipamentos de frio presentes no edifício. Por esse motivo o presente trabalho conclui que sempre que seja necessário substituir um destes equipamentos se opte pela aquisição de um com o melhor desempenho energético possível. Atendendo ao vasto potencial de redução de consumo e ao elevado tempo de vida útil da maioria destes equipamentos, esta abordagem, apesar de não impactar a classe obtida para o edifício, irá permitir uma grande poupança económica e energética a longo prazo.

O processo de certificação energética de um GES envolve algumas simplificações ao nível dos horários de utilização dos equipamentos e ocupação das zonas. Em particular e para efeitos de simulação, nas zonas de circulação e instalações sanitárias a ocupação assume-se como zero. No caso de estudo atual estas zonas têm constantemente os dispositivos de iluminação ligados, contribuindo para um elevado consumo energético. A possibilidade de instalar sensores de movimento nestas zonas não foi estudada, pois a ausência do parâmetro de ocupação no modelo de simulação impede a correta previsão dos efeitos desta medida no consumo elétrico anual. Apesar disso, recomenda-se a instalação destes sistemas, pois face à situação atual irá significar uma poupança elevada sendo que os equipamentos apenas estarão ligados quando existe ocupação que assim o justifique.

A classe energética obtida foi de *B*, ou seja, o edifício não se encontra sujeito a um Plano de Racionalização de Energia (PRE) pois esta é igual ou superior à classe *C*. A aplicação de apenas uma das medidas de melhoria propostas tem como consequência a subida da classe energética para *A*, sendo que quando consideradas as tarifas de energia elétrica de 2019 ambas as medidas têm períodos de retorno inferiores a 5 anos. A atribuição da classe energética *A* ao edifício de serviços coloca o Teclabs apto a um benefício fiscal na taxa do imposto municipal de imóvel (IMI), que consiste na redução de até 25% do imposto a pagar pelo proprietário. Este imposto não foi tido em conta nas análises financeiras e pode ser considerado como um acréscimo à poupança financeira associada às medidas de melhoria.

O presente trabalho conclui que devem ser aplicadas as medidas de melhoria estudadas, nomeadamente o *retrofitting* do sistema de iluminação e a instalação de uma UPAC fotovoltaica com 10kWp. Não se recomenda a instalação de uma UPAC de potência superior, pois o objetivo a longo prazo de reduzir os consumos anuais de energia, aliado ao facto do preço de venda da energia ser inferior ao de compra, torna o aumento do investimento inicial um encargo financeiro com um retorno mais reduzido.

8. Referências

- [1] European Union, Concerted Action “Implementing the Energy Performance of Buildings Directive – Featuring Country Reports 2012”, 2013
- [2] “Observatório da Energia – Energia em Números” [Online] Disponível: <http://observatoriodaenergia.pt/pt/energia-em-numeros/portugal/2007/2017/stacked-area/certificadosano/2319-2355-2356-2361-2362,2363>
- [3] European Commission, Eurostat, “Energy balance sheets — 2017 data — 2019 edition”, 2019
- [4] <https://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/energy-efficiency-portugal.pdf>
- [5] FRANK P. INCROPERA DAVID P. DEWITT, THEODORE L. BERGMAN, A. S. L. (1993) Fundamentals of Heat and Mass Transfer.
- [6] Zhao, H. X., & Magoulès, F. (2012). A review on the prediction of building energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 3586–3592. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.049>
- [7] <https://edplondon.weebly.com/comfort/previous/2>
- [8] Wang, S., Yan, C., & Xiao, F. (2012). Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. Energy and Buildings, 55, 873–888. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.037>
- [9] Neymark, J., Judkoff, R., Knabe, G., Le, H. T., Dürig, M., Glass, A., & Zweifel, G. (2002). Applying the building energy simulation test (BESTEST) diagnostic method to verification of space conditioning equipment models used in whole-building energy simulation programs. Energy and Buildings, 34(9), 917–931. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00072-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00072-5)
- [10] Ryan, E. M., & Sanquist, T. F. (2012). Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions. Energy and Buildings, 47, 375–382. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.020>
- [11] Aguiar, R. Clima. CLIMAS-SCE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios. [Online] Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., 16 de maio de 2013. <http://www.lneg.pt/servicos/328/2263/>.
- [12] https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/PRT/PRT_Lisboa.085360_INETI
- [13] Pina, C. A., & Matias, L. (2006). COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DE ELEMENTOS DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS Versão actualizada 2006
- [14] International Energy Agency: https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/R08_dishwashers_AEAT_Final_GSOK.pdf
- [15] <https://www.directindustry.com/pt/prod/extech/product-14309-562376.html>
- [16] EN 12464-1 Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places. European Standard, 3, 1–43. <https://doi.org/http://www.din.de>

[17] M. Mateus, N., Pinto, A. e Carrilho da Graça, G. Validation of EnergyPlus thermal simulation of a double skin naturally naturally and mechanically ventilated test cell. *Energy and Buildings*, vol. 75, pp. 511-522, 2014.

[18] Research Report from Norway – Wind pressure measurements on a rotatable test house, vol. 7, Nº2, February 1986

[19] Martins, N. R., & Carrilho da Graça, G. (2017). Impact of outdoor PM2.5 on natural ventilation usability in California's nondomestic buildings. *Applied Energy*, 189, 711–724. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.103>

[20] Design Builder: https://designbuilder.co.uk/helpv2/Content/General_lighting.htm

[21] CIBSE. (2006). Guide F: Energy efficiency in buildings. Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 323.

[22] De Almeida, A., Hirzel, S., Patrão, C., Fong, J., & Dütschke, E. (2012). Energy-efficient elevators and escalators in Europe: An analysis of energy efficiency potentials and policy measures. *Energy and Buildings*, 47, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.053>

[23] <http://livre.pt/pt/282-sem-baterias>

Anexo A

A.1. Zonamento Térmico

Tabela A.1.1 - Lista de espaços afetos a cada zona térmica

Zona	Espaço Afeto
Arrum1_Piso0	-1.3.8, -1.1.15, -1.1.14, -1.1.16,
Arrum2_Piso0	-1.1.12, -1.1.11, -1.1.13
Arrum3_Piso0	Condutas
Arrum4_Piso0	-1.1.10B, -1.1.10B1
Arrum5_Piso0	-1.1.9, -1.1.6, -1.1.7, -1.1.8, -1.1.5,
Arrum6_Piso0	Condutas elevador
Copa_Piso0	-1.1.17,
Corr_Piso0	Corredor
Form_Piso0	-1.1.1,
Gab1_Piso0_S	-1.1.18
Gab2_Piso0	-1.1.4, -1.1.3, -1.1.2,
InstElec_Piso0	-1.3.5, Instalação Elétrica,
Lab1_Piso0	-1.1.11B,
Lab2_Piso0	-1.1.10A1, -1.1.10A,
Lab3_Piso0	-1.1.10C, -1.1.10C1,
WC_Piso0	-1.3.6, -1.3.7,
Arrum1_Piso1	Sem designação
Arrum2_Piso1	Condutas
Arrum3_Piso1	Condutas elevador
BAR	Bar
Corr_Piso1	Corredor
Gab1_Piso1_N	0.1.6B,
Gab1_Piso1_S	0.2.14, 0.2.15,
Gab2_Piso1_N	0.2.7, 0.2.8,
Gab2_Piso1_S	0.2.10, 0.2.11,
Gab3_Piso1_N	0.2.19,
Gab4_Piso1_N	0.2.17,
Gab5_Piso1_N	0.2.18,
Gabmid_Piso1	0.2.6, 0.2.2, 0.2.3, 0.2.1, 0.2.4, 0.2.5,
Lab1_Piso1_Nasc	0.1.1, 0.1.2, 0.1.3,
Lab2_Piso1_Nasc	0.1.5, 0.1.4,
Lab3_Piso1_Nasc	0.1.6,
Recep_Piso1_S	0.2.20,

Zona	Espaço Afeto
ReunAB_Piso1_S	0.2.16B, 0.2.16A,
ReunC_Piso1_S	0.2.12,
WC_Piso1	0.3.3, 0.3.4,
Arrum1_Piso2	1.2.12, 1.2.11
Arrum2_Piso2	Condutas
Arrum3_Piso2	1.2.1,
Arrum4_Piso2	Condutas elevador
Arrum5_Piso2	1.2.7,
Arrum6_Piso2	1.6.10,
Arrum7_Piso2	1.6.2,
Audi_Piso2_S	1.2.9,
Corr_Piso2	Corredor
Gab1_Piso2_N	1.2.8,
Gab1_Piso2_S	1.2.10,
Gabmid_Piso2	1.2.3, 1.2.4, 1.2.6, 1.2.5, 1.2.2,
Lab1_Piso2_N	1.6.1,
Lab1_Piso2_Nasc	1.1.1,
Lab2_Piso2_N	1.6.11,
Lab2_Piso2_Nasc	1.1.2, 1.1.2a, 1.1.2b, 1.1.3,
Lab3_Piso2_N	1.6.4, 1.6.3, 1.6.5,
Lab3_Piso2_Nasc	1.1.4,
Lab4_Piso2_N	1.6.9, 1.6.6, 1.6.7, 1.6.8,
LabLav_Piso2_N	1.1.5,
WC_Piso2	1.3.3, 1.3.4,
Arrum1_Piso3	Condutas Elevador
Arrum2_Piso3	2.2.5
Arrum3_Piso3	Condutas
Arrum4_Piso3_Nasc	2.2.9
Corr_Piso3	Corredor
Gab1_Piso3_N	2.2.6, 2.2.7
Gab1_Piso3_S	2.2.4
Gab2_Piso3_S	2.2.8
Gabmid_Piso3	2.2.1, 2.2.2, 2.2.3

A.2. Qualidade de Iluminação

Zona	Iluminância [lux]		DPI [W/(m ² -100lux)]			Qualidade de Iluminação atual
	Observada	Referência	Atual	Referência	Proposta	
Arrum1_Piso0	97	100	4.2	3.4	1.6	Insuficiente e Ineficiente
Arrum2_Piso0	137	100	6.1	3.4	1.5	Suficiente e Ineficiente
Arrum3_Piso0	n.a.	100	-	3.4	-	-
Arrum4_Piso0	100	100		3.4	0.0	Suficiente e Eficiente
Arrum5_Piso0	132	100	4.1	3.4	1.2	Suficiente e Ineficiente
Arrum6_Piso0	n.a.	100	-	3.4	-	-
Copa_Piso0	211	200	2.3	3.4	1.1	Suficiente e Eficiente
Corr_Piso0	100	100	2.0	3.8	1.3	Suficiente e Eficiente
Form_Piso0	237	300	7.4	2.4	1.9	Insuficiente e Ineficiente
Gab1_Piso0_S	1200	500	0.8	2.4	0.5	Suficiente e Eficiente
Gab2_Piso0	343	500	5.3	2.4	1.3	Insuficiente e Ineficiente
InstElec_Piso0	199	100	4.5	3.4	1.1	Suficiente e Ineficiente
Lab1_Piso0	105	500	13.4	2.4	3.4	Insuficiente e Ineficiente
Lab2_Piso0	234	500	4.8	2.4	1.2	Insuficiente e Ineficiente
Lab3_Piso0	156	500	3.5	2.4	1.8	Insuficiente e Ineficiente
WC_Piso0	210	200	3.7	3.8	3.7	Suficiente e Eficiente
Arrum1_Piso1	100	100	0.0	3.4	0.0	Suficiente e Eficiente
Arrum2_Piso1	n.a.	100	-	3.4	-	-
Arrum3_Piso1	n.a.	100	-	3.4	-	-
BAR	263	200	3.4	3.4	1.3	Suficiente e Eficiente
Corr_Piso1	100	100	1.4	3.8	1.0	Suficiente e Eficiente
Gab1_Piso1_N	325	500	3.0	2.4	3.0	Insuficiente e Ineficiente
Gab1_Piso1_S	347	500	1.5	2.4	0.8	Insuficiente e Eficiente
Gab2_Piso1_N	343	500	2.3	2.4	1.5	Insuficiente e Eficiente
Gab2_Piso1_S	308	500	1.9	2.4	1.0	Insuficiente e Eficiente

Zona	Iluminância [lux]		DPI [W/(m ² -100lux)]			Qualidade de Iluminação atual
	Observada	Referência	Atual	Referência	Proposto	
Gab3_Piso1_N	350	500	3.1	2.4	3.1	Insuficiente e Ineficiente
Gab4_Piso1_N	520	500	1.2	2.4	0.7	Suficiente e Eficiente
Gab5_Piso1_N	377	500	2.7	2.4	1.0	Insuficiente e Ineficiente
Gabmid_Piso1	348	500	1.9	2.4	1.3	Insuficiente e Eficiente
Lab1_Piso1_Nasc	410	500	3.6	2.4	3.6	Insuficiente e Ineficiente
Lab2_Piso1_Nasc	272	500	4.9	2.4	1.9	Insuficiente e Ineficiente
Lab3_Piso1_Nasc	272	500	3.2	2.4	1.2	Insuficiente e Ineficiente
Recep_Piso1_S	135	500	3.1	2.4	1.6	Insuficiente e Ineficiente
ReunAB_Piso1_S	280	500	2.4	2.4	1.2	Insuficiente e Eficiente
ReunC_Piso1_S	324	500	1.6	2.4	0.8	Insuficiente e Eficiente
WC_Piso1	210	200	3.7	3.8	3.7	Suficiente e Eficiente
Arrum1_Piso2	170	100	3.5	3.4	0.9	Suficiente e Ineficiente
Arrum2_Piso2	n.a.	100	-	3.4	-	-
Arrum3_Piso2	327	100	4.1	3.4	1.0	Suficiente e Ineficiente
Arrum4_Piso2	n.a.	100	-	3.4	-	-
Arrum5_Piso2	240	100	5.7	3.4	1.4	Suficiente e Ineficiente
Arrum6_Piso2	1200	100	2.3	3.4	2.3	Suficiente e Eficiente
Arrum7_Piso2	470	100	3.8	3.4	3.8	Suficiente e Ineficiente
Audi_Piso2_S	240	300	6.5	2.4	6.5	Insuficiente e Ineficiente
Corr_Piso2	100	100	1.6	3.8	1.2	Suficiente e Eficiente
Gab1_Piso2_N	276	500	4.6	2.4	1.1	Insuficiente e Ineficiente
Gab1_Piso2_S	343	500	2.1	2.4	2.1	Insuficiente e Eficiente
Gabmid_Piso2	499	500	2.4	2.4	0.7	Insuficiente e Ineficiente
Lab1_Piso2_N	210	500	3.8	2.4	1.9	Insuficiente e Ineficiente
Lab1_Piso2_Nasc	218	500	5.2	2.4	1.3	Insuficiente e Ineficiente
Lab2_Piso2_N	360	500	2.2	2.4	2.2	Insuficiente e Eficiente

Zona	Iluminância [lux]		DPI [W/(m ² -100lux)]			Qualidade de Iluminação atual
	Observada	Referência	Atual	Referência	Proposto	
Lab2_Piso2_Nasc	254	500	4.7	2.4	1.2	Insuficiente e Ineficiente
Lab3_Piso2_N	360	500	3.3	2.4	3.3	Insuficiente e Ineficiente
Lab3_Piso2_Nasc	175	500	2.1	2.4	1.1	Insuficiente e Eficiente
Lab4_Piso2_N	603	500	3.6	2.4	3.6	Suficiente e Ineficiente
LabLav_Piso2_N	380	500	1.3	2.4	0.6	Insuficiente e Eficiente
WC_Piso2	210	200	3.7	3.8	3.7	Suficiente e Eficiente
Arrum1_Piso3	n.a	100	-	-	-	-
Arrum2_Piso3	190	100	7.2	3.4	7.2	Suficiente e Ineficiente
Arrum3_Piso3	n.a.	100	-	-	-	-
Arrum4_Piso3_Nasc	1200	100	0.0	3.4	0.0	Suficiente e Eficiente
Corr_Piso3	100	100	1.7	3.8	0.9	Suficiente e Eficiente
Gab1_Piso3_N	243	500	2.6	2.4	2.6	Insuficiente e Ineficiente
Gab1_Piso3_S	1055	500	0.7	2.4	0.6	Suficiente e Eficiente
Gab2_Piso3_S	511	500	1.5	2.4	1.5	Suficiente e Eficiente
Gabmid_Piso3	1380	500	0.6	2.4	0.6	Suficiente e Eficiente

A.3. Fichas Técnicas de Equipamentos

INDOOR		MSMAAU-09HRDN1-QRDOGW	MSMABU-12HRDN1-QRDOGW	MSMACU-18HRFN1-QRDOGW	MSMADU-24HRFN1-QRDOGW
OUTDOOR		MOBA03-09HFN1-QRDOGW	MOBA03-12HFN1-QRDOGW	MOB02-18HFN1-QRDOGW	MOCA02-24HFN1-QRDOGW
Nominal Cooling Capacity (min-max)	kW	2.6 (1.03 - 3.2)	3.5 (1.08 - 4.1)	5.3 (1.8 - 6.1)	7.0 (2.7 - 7.9)
Nominal Heating Capacity (min-max)	kW	3.0 (.82 - 3.4)	4.0 (.88 - 4.2)	5.7 (1.4 - 6.7)	7.6 (1.6 - 8.8)
UK Total Cooling Capacity	kW	2.49	3.37	4.98	6.63
Power supply (indoor power via outdoor)	V-Hz-Ph	220-240V~ 50Hz, 1Ph	220-240V~ 50Hz, 1Ph	220-240V~ 50Hz, 1Ph	220-240V~ 50Hz, 1Ph
Cooling Current (min-max)	A	3.6(0.4-5.4)	5.5(0.4-6.9)	7.1(0.6~10.3)	10.8(1.0-13.2)
Heating Current (min-max)	A	3.5(0.5-5.2)	5.2(0.6-6.6)	7.1(0.9~10.5)	9.9(1.1-13.7)
Max. current	A	9.5	10	11.5	17
Outdoor Recommended Fuse Size	A	16	16	16	20
Interconnecting Wiring	No.	2 Core 1.5mm	2 Core 1.5mm	2 Core 1.5mm	2 Core 2.5mm
Seasonal Efficiency SEER/Class	W/W	6.1/A++	6.1/A++	6.7/A++	6.1/A++
Seasonal Efficiency SCOP/Class	W/W	5.1/A+++	5.1/A+++	5.3/A+++	5.1/A+++
Indoor air flow (Hi/Mi/Lo)	m ³ /h	490/370/270	600/480/380	860/690/480	1000/850/650
Indoor sound pressure level (Hi/Mi/Lo)	dB(A)	37/31/28	40/34/27	43/39/31	45/38/32
Indoor unit	Dimension (W*D*H)	mm	715x205x285	805x205x285	1038x220x325
	Packing (W*D*H)	mm	780x285x360	870x285x360	1035x305x380
	Net/Gross weight	Kg	6.5/8.5	7.5/9.5	8.5/12
Outdoor air flow	m ³ /h	1800	1800	2100	2700
Outdoor sound pressure level	dB(A)	50	50	51	54
Outdoor unit	Dimension (W*D*H)	mm	770x300x555	770x300x555	800x333x554
	Packing (W*D*H)	mm	900x348x615	900x348x615	920x390x615
	Net/Gross weight	Kg	25.2/27.4	25.5/27.7	37.8/40.5
Refrigerant	Type		R410A	R410A	R410A
	GWP		2088	2088	2088
	Charged quantity	Kg	0.8	0.8	1.48
	Additional Charge	g/m	15	15	30
Refrigerant piping	Liquid side/ Gas side	mm(inch)	φ6.35/φ9.52(1/4"/3/8")	φ6.35/φ9.52(1/4"/3/8")	φ6.35/φ12.7(1/4"/1/2")
	Max. refrigerant pipe length	m	25	25	30
	Max. height difference	m	10	10	20
Thermostat type			Remote Control	Remote Control	Remote Control
Operation temperature	Indoor (cooling/ heating)	°C	17~32/0~30	17~32/0~30	17~32/0~30
	Outdoor (cooling/heating)	°C	-15~50/-15~30	-15~50/-15~30	-15~50/-15~30

Nominal Conditions: Cooling: indoor 27°C DB, 19°C WB, outdoor 35°C DB, 24°C WB.

Nominal Conditions: Heating: indoor 20°C DB, outdoor 7°C DB, 6°C WB.

UK Conditions: Summer: indoor 21°C DB, 15°C WB, outdoor 27°C DB.

Figura A.2.1 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MIDEA_MSMABU

Ficha de produto (rotulagem energética dos aparelhos de ar condicionado)		
Nome do fornecedor	-	Samsung Electronics Co., Ltd.
Model name (Indoor/Outdoor)	-	AR09JSFSBURN / AR09JSFSBURX
Nível de potência sonora (interior/exterior)	dBA	56/59
Nome do fluido refrigerante ⁴⁾	-	R-410A
GWP	-	2088
SEER	-	6,1
Classe de eficiência energética (SEER)	-	A++
Q _{CE} ²⁾ (estação de arrefecimento)	kWh/a	143
P _{designc}	kW	2,5
SCOP	-	3,8
Classe de eficiência energética (SCOP)	-	A
Q _{HE} ³⁾ (estação de aquecimento)	kWh/a	847
Outras estações de aquecimento adequadas para utilização	-	-

Figura A.3.2 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização SAMSUNG AR09JSFSBURN

MODELO	Capacidade de Arrefecimento kW (min -máx)	SEER	Capacidade de Aquecimento kW (min -máx)	SCOP
HCDI/O-M9EUDC	2.60 [0.90-3.10]	5.50 	2.90 [1.00-3.40]	3.80 
HCDI/O-M12EUDC	3.50 [1.20-4.00]	5.50 	3.80 [1.20-4.20]	3.80 
HCDI/O-M18EUDC	5.00 [1.50-6.40]	6.50 	5.10 [1.60-6.70]	3.80 
HCDI/O-M24EUDC	6.70 [3.50-7.30]	5.90 	7.30 [3.50-7.90]	3.80 

Figura A.3.4 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização Haice HDCI-M18EUDC

MSZ-GA35VA Indoor Unit	
Capacity (kW):	
Heating (Nominal) (Low - High)	4.00 (0.90 - 5.00)
Cooling (Nominal) (Low - High)	3.50 (1.00 - 3.90)
Heating (UK) (Low - High)	3.30 (0.75 - 4.15)
Cooling (UK) (Low - High)	3.45 (1.00 - 3.85)
SHF R410A (Nominal)	0.76
COP / EER (Nominal)	3.79 / 3.24
Energy Label Heating / Cooling	A / A
Width - mm	780
Depth - mm	210
Height - mm	298
Weight - kg	9
Airflow (m3/min) (Heating /Cooling) - Lo-Mi-Hi-SupHi	4.5-6.4-8.4-10.5 / 4.1-6.1-8-10
Noise (dBA) (Heating /Cooling) - Lo-Mi-Hi-SupHi	22-29-36-43 / 22-29-36-43
Pipe Size Gas mm (in)	9.52 (3/8)
Pipe Size Liquid mm (in)	6.35 (1/4)
Electrical Supply	Fed by Outdoor Unit
Phase	Single
Fuse Rating (BS88) - HRC (A)	6
Interconnecting Cable No. Cores	4

Figura A.3.3 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-GA35VA

MSZ-GE71VA Indoor Unit	
Capacity (kW):	
Heating (Nominal) (Low - High)	8.10 (2.20 - 9.90)
Cooling (Nominal) (Low - High)	7.10 (2.40 - 8.70)
Heating (UK) (Low - High)	6.75 (1.85 - 8.25)
Cooling (UK) (Low - High)	7.05 (2.40 - 8.65)
SHF R410A (Nominal)	0.78
COP / EER (Nominal)	3.83 / 3.33
Energy Label Heating / Cooling	A / A
Width - mm	1100
Depth - mm	238
Height - mm	325
Weight - kg	16
Airflow (m ³ /min) (Heating /Cooling) - Lo-Mi1-Mi2-Hi-SupHi	11.5-13.3-15.4-17.8-19.4 / 11.5-13.3-15.4-17.8-19.4
Noise (dBA) (Heating /Cooling) - Lo-Mi1-Mi2-Hi-SupHi	37-41-45-49-52 / 37-41-45-49-53
Pipe Size Gas mm (in)	15.88 (5/8)
Pipe Size Liquid mm (in)	9.52 (3/8)
Electrical Supply	Fed by Outdoor Unit
Phase	Single
Fuse Rating (BS88) - HRC (A)	6
Interconnecting Cable No. Cores	4

Figura A.3.5 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-GE71VA

INDOOR	
Heating Capacity (kW) (nominal)	3.15 (0.9 - 4.4)
Cooling Capacity (kW) (nominal)	2.5 (0.9 - 3)
Heating Capacity (kW) (UK)	2.61 (0.74 - 3.65)
Cooling Capacity (kW) (UK)	2.48 (0.89 - 2.97)
SHF (nominal and UK)	0.89
COP / EER (nominal)	3.62 / 3.42
SCOP / SEER	3.8 / 5.1
Energy Label (nominal)	A / A
Airflow (m ³ /min) (Heating) - Lo-Mi-Hi-SupHi	3.4 - 5.5 - 7.5 - 9.9
Airflow (m ³ /min) (Cooling) - Lo-Mi-Hi-SupHi	3.8 - 5.5 - 7.3 - 9.5
Pipe Size Gas (mm [in])	9.52 (3/8)
Pipe Size Liquid (mm [in])	6.35 (1/4)
Sound Pressure Level (dBA) Heating - Lo-Mi-Hi-SupHi	23 - 30 - 37 - 43
Sound Pressure Level (dBA) Cooling - Lo-Mi-Hi-SupHi	22 - 30 - 37 - 43
Sound Power Level (dBA) Cooling	57
Dimensions (mm) Width x Depth x Height	799 x 232 x 290
Weight (kg)	9
Electrical Supply	220-240V, 50HZ
Phase	SINGLE
Fuse Rating (BS88) - HRC (A)	10
Interconnecting Cable No. Cores	4

Figura A.3.6 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-HJ25VA

INDOOR	
Heating Capacity (kW) (nominal)	3.6 (0.9 - 4.8)
Cooling Capacity (kW) (nominal)	3.15 (1 - 3.7)
Heating Capacity (kW) (UK)	2.99 (0.74 - 3.98)
Cooling Capacity (kW) (UK)	3.12 (0.99 - 3.67)
SHF (nominal and UK)	0.87
COP / EER (nominal)	3.62 / 3.03
SCOP / SEER	3.8 / 5.1
Energy Label (nominal)	A / B
Airflow (m³/min) (Heating) - Lo-Mi-Hi-SupHi	3.4 - 5.5 - 7.5 - 10.3
Airflow (m³/min) (Cooling) - Lo-Mi-Hi-SupHi	3.8 - 5.7 - 7.8 - 10.9
Pipe Size Gas (mm [in])	9.52 (3/8)
Pipe Size Liquid (mm [in])	6.35 (1/4)
Sound Pressure Level (dBA) Heating - Lo-Mi-Hi-SupHi	23 - 30 - 37 - 44
Sound Pressure Level (dBA) Cooling - Lo-Mi-Hi-SupHi	22 - 31 - 37 - 45
Sound Power Level (dBA) Cooling	60
Dimensions (mm) Width x Depth x Height	799 x 232 x 290
Weight (kg)	9
Electrical Supply	220-240V, 50HZ
Phase	SINGLE
Fuse Rating (BS88) - HRC (A)	10
Interconnecting Cable No. Cores	4

Figura A.3.7 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-HJ35VA

MSZ-GE25VA Indoor Unit	
Capacity (kW):	
Heating (Nominal) (Low - High)	3.20 (1.30 - 4.50)
Cooling (Nominal) (Low - High)	2.50 (1.10 - 3.50)
Heating (UK) (Low - High)	2.65 (1.10 - 3.75)
Cooling (UK) (Low - High)	2.50 (1.10 - 3.45)
SHF R410A (Nominal)	0.96
COP / EER (Nominal)	4.57 / 4.59
Energy Label Heating / Cooling	A / A
Width - mm	798
Depth - mm	232
Height - mm	295
Weight - kg	10
Airflow (m³/min) (Heating /Cooling) - Lo-Mi1-Mi2-Hi-SupHi	4.1-4.8-6.6-9.1-11.5 / 4.1-4.8-6.7-9.1-11.3
Noise (dBA) (Heating /Cooling) - Lo-Mi1-Mi2-Hi-SupHi	19-21-29-36-42 / 19-21-29-36-42
Pipe Size Gas mm (in)	9.52 (3/8)
Pipe Size Liquid mm (in)	6.35 (1/4)
Electrical Supply	Fed by Outdoor Unit
Phase	Single
Fuse Rating (BS88) - HRC (A)	6
Interconnecting Cable No. Cores	4

Figura A.3.8 - Ficha das Características Técnicas do equipamento de climatização MSZ-GE25VA

Ângulo de Abertura:	300°
Vida Útil:	30.000 Horas
Factor de Potência (FP):	0.90
Certificados:	CE & RoHS
Classe Energética:	A+
Regulavel:	Não
Dimensões:	Ø28x900 mm
Proteção IP:	IP25
Fonte luminosa:	Epistar-SMD2835
Multivoltagem:	85-265V AC
Material:	Vidro
Potência:	14 W
Frequência:	50-60 Hz
Alimentação:	220-240V
Luminosidade:	1540 lm
Tª Ambiente Trabalho:	-20°C ~ +45°C
Tipo de Lente:	Translúcido
Casquilho:	T8
Rendimento LED:	110 lm/W
CRI:	80
Comprimento:	900 mm
Garantia:	2 Anos

Figura A.3.10 - Ficha técnica das lâmpadas Led T8 900mm para melhoria do sistema de iluminação

Ângulo de Abertura:	300°
Vida Útil:	30.000 Horas
Factor de Potência (FP):	0.90
Classe Energética:	A+
Certificados:	CE & RoHS
Dimensões:	Ø28x600 mm
Proteção IP:	IP25
Fonte luminosa:	Epistar-SMD2835
Multivoltagem:	85-265V AC
Material:	Vidro
Potência:	9 W
Frequência:	50-60 Hz
Cantidad de LEDs:	48
Alimentação:	220-240V
Luminosidade:	990 lm
Tª Ambiente Trabalho:	-20°C ~ +45°C
Tipo de Lente:	Translúcido
Casquilho:	T8
Intensidade:	0.0496 A
Rendimento LED:	110 lm/W
CRI:	80
Comprimento:	600 mm
Garantia:	2 Anos

Figura A.3.9 - Ficha técnica das lâmpadas Led T8 600mm para melhoria do sistema de iluminação